

Institut National de  
Physique Nucléaire et de  
Physique des Particules  
du CNRS

# Des abysses au cosmos

exposition du 15 septembre au 8 octobre 2023  
au fort Napoléon de La Seyne-sur-Mer

Programme et inscriptions :  
<https://www.cppm.in2p3.fr/abysses-cosmos>



# Des abysses au cosmos

Exposition au fort Napoléon de La Seyne-sur-Mer,  
du 15 septembre au 8 octobre 2023

« Des abysses au cosmos » est une exposition didactique qui plongera ses visiteurs, à plus de 2400 mètres, au large de La Seyne-sur-Mer sur l'infrastructure sous-marine LSPM[1], révélant les défis et innovations qui permettent l'étude des particules cosmiques (ANTARES[2], KM3NeT[3]) et de l'environnement marin profond (EMSO[4]). Cette exposition avec un programme d'actions culturelles scientifiques et techniques s'adressant à un large public est organisée, au fort Napoléon, par le Centre de Physique des Particules de Marseille[5] et la Mairie de La Seyne-sur-Mer[6], avec des scientifiques, des partenaires industriels et des artistes.

Du 15 septembre au 8 octobre 2023, entre les “Journées européennes du patrimoine” et celles de la manifestation nationale “Fête de la science”, et dans le cadre de l’année nationale de la physique 2023-2024, le public et les scolaires pourront découvrir les recherches et les développements technologiques de pointe dans le domaine des sciences physiques et environnementales. Ces recherches ont été effectuées avec le télescope sous-marin à neutrinos, ANTARES, entre 2001 et 2022, et se poursuivent avec KM3NeT, seconde génération du détecteur à neutrinos. Associés à ces projets, des capteurs des sciences de la mer et de l’environnement du réseau EMSO permettent des mesures du milieu marin en continu. Installée à 2450 mètres de profondeur, en Méditerranée, à une quarantaine de kilomètres au large de La Seyne-sur-Mer, cette infrastructure, gérée par le Laboratoire sous-marin Provence Méditerranée, donne en effet un accès unique aux abysses et constitue un pôle d’attractivité de rang mondial pour l’étude des neutrinos et de l’environnement marin.

L’exposition retrace les recherches menées sur les neutrinos avec ANTARES et KM3NeT - les première et deuxième générations de télescopes sous-marins à neutrinos - ainsi que celles sur l’environnement marin avec l’évolution du climat et de la circulation océanique, la faune des abysses, la biodiversité, la géodynamique du bassin Ligure, les risques sismiques, la radioactivité marine à grande profondeur.

Au fort Napoléon, situé dans un écrin de verdure dominant la rade de Toulon, l'exposition est organisée par le CPPM et la Mairie de La Seyne-sur-Mer, et se visitera librement, avec quelques rendez-vous ponctuels encadrés pour des groupes de scolaires et du grand public, notamment pendant les Journées du patrimoine et celles la Fête de la science.

*« Des abysses au cosmos » a été conçue par le CPPM, dans le cadre de ses 40 ans, pour faire découvrir au plus grand nombre les coulisses de la recherche internationale. Pour une plus grande portée de ce type d'actions culturelles, le CPPM bénéficie du soutien de ses partenaires institutionnels et académiques, du réseau Culture science Sud Provence Alpes Côte d'Azur ainsi que des labels « Année de la physique 2023-2024 » et « Fête de la science 2023 ».*

## Informations pratiques :

**Exposition pour le grand public : du 15 septembre au 8 octobre 2023**

- Du mardi au vendredi de 9h à 12h et de 14h à 17h
- Le samedi de 9h à 12h et de 14h à 18h
- Le dimanche 17 septembre et le dimanche 8 octobre, de 9h à 12h et de 14h à 18h.

**Visites pour les scolaires :**

- Les mardis et jeudis de 9h à 12h et de 14h à 17h,
- Sur inscriptions : <https://evento.renater.fr/survey/visite-de-l-exposition-au-fort-napoleon-destinee-aux-scolaires-d4nh54n7>

**Adresse :** fort Napoléon Chemin Marc Sangnier, 83500 La Seyne-sur-Mer,  
04.94.30.42.80

**Plus d'informations sur le contenu de l'exposition et sur le programme d'activités associées :** <https://www.cppm.in2p3.fr/abysse-cosmos>

## Contacts :

**Vincent Bertin**, chercheur CNRS (CPPM, CNRS/IN2P3 - Aix-Marseille Université),  
bertin@cppm.in2p3.fr

**Damien Dornic**, chercheur CNRS (CPPM, CNRS/IN2P3 - Aix-Marseille Université),  
dornic@cppm.in2p3.fr

**Magali Damoiseaux**, responsable communication CNRS (CPPM, CNRS/IN2P3 - Aix-Marseille Université),  
com@cppm.in2p3.fr, 06.75.71.37.93

[1] LSPM, <https://www.lspm.in2p3.fr> - Unité du CNRS co-pilotée par Aix-Marseille Université et Ifremer. Le LSPM est labellisé « plateforme technologique » d'Aix-Marseille Université. Le CPPM est le laboratoire hôte pour le LSPM.

[2] <https://antares.in2p3.fr/>

[3] <https://www.km3net.org/>

[4] <https://www.emso-fr.org/EMSO-France>

[5] CPPM, CNRS/IN2P3 - Aix-Marseille Université, <https://www.cppm.in2p3.fr>

[6] Mairie de La Seyne-sur-Mer, <https://www.la-seyne.fr/>



## LUMIERE SUR L'EXPOSITION « DES ABYSSES AU COSMOS »

### Une visite libre

Des **éléments didactiques**, posters, maquettes, films, micro-interviews faciliteront la compréhension des visiteurs sur les études scientifiques menées en sciences physiques et environnementales. Ce sera aussi l'occasion d'avoir un éclairage sur les défis et innovations technologiques nécessaires pour mettre en œuvre tous les instruments déployés à grande profondeur.

En effet, aux côtés des **scientifiques**, des **industriels** présenteront leur savoir-faire mis en œuvre pour relever ces défis.

Des **artistes** montreront également des réalisations effectuées ces dernières années et en lien avec ces expériences sous-marines.

Par la même occasion, un **forum de valorisation technologique** sera organisé entre scientifiques et industriels liés au milieu marin.

Un programme culturel, riche et varié, au fort Napoléon où le public pourra être guidé tout au long de son parcours par des espaces dédiés à chacune des thématiques : les neutrinos, les rayons cosmiques, le projet ANTARES, le projet KM3NeT, les sciences environnementales, les défis technologiques, des hommes et des femmes en science, quand la science inspire les artistes.

### Des visites guidées et des conférences grand public

Chaque samedi, une conférence sera proposée au public, sur une thématique particulière, à 16h30, sur inscriptions (attention : nombre limité de places) :

- **ANTARES et KM3NeT : 20 ans d'exploration du cosmos depuis les abysses de la Méditerranée au large de La Seyne-sur-Mer** : <https://indico.in2p3.fr/event/30532/>
- **Les sciences environnementales** : <https://indico.in2p3.fr/event/30534/>
- **L'histoire des neutrinos** : <https://indico.in2p3.fr/event/30535/>
- **L'astronomie du 21ème siècle** : <https://indico.in2p3.fr/event/30536/>

Chaque conférence sera précédée d'une visite guidée à 15h30.



## Un programme d'activités adapté aux scolaires

Les scolaires - écoliers, collégiens et lycéens - découvriront 20 ans d'exploration sous-marine du cosmos au large de La Seyne-sur-Mer ainsi que les défis et innovations scientifiques et technologiques pour l'étude des neutrinos et de l'environnement marin profond.

### Plusieurs animations leur seront proposées :

Une visite guidée de l'exposition par les scientifiques et adaptée à chaque tranche d'âges. Les scolaires pourront ainsi découvrir le monde de l'infiniment petit avec le neutrino, l'une des particules élémentaires les plus mystérieuses (véritable particule fantôme). L'objectif sera de définir ce qu'est un neutrino, de comprendre comment notre corps est traversé chaque seconde par des millions de millions de neutrinos, pourquoi il interagit très peu avec la matière, comment le détecter et les défis scientifiques et technologiques que cela engendre.

Pour répondre à ces questionnements, les scientifiques s'appuieront sur les **éléments didactiques** qui composent l'exposition : objets, maquettes, films, interviews, photographies, chambre à brouillard, posters...

Un **quizz** en fin de parcours permettra de restituer ce que les élèves auront appris et de réaliser une synthèse de la visite.

Enfin, **l'atelier Dessine-moi un neutrino** sera proposé à l'ensemble des classes. Il s'agit d'un concours de dessin au sein duquel chaque participant est invité à soumettre sa meilleure représentation d'un neutrino. Les dessins peuvent être réalisés avec n'importe quelle technique ou support et seront jugés sur la base de leur originalité, de leur créativité et de l'harmonie avec les propriétés et l'origine des neutrinos. Les résultats du concours seront annoncés et mis en avant lors de la Fête de la Science.

L'accueil des groupes de scolaires sera encadré et se fera sur inscriptions, avec des créneaux d'une heure, les mardis et les jeudis, durant la période du 19 septembre au 5 octobre ainsi que le vendredi 6 octobre dans le cadre de la Fête de la science.

## Portraits d'hommes et de femmes de science

### Posters sur la place des femmes en science

« Selon les données de l'Institut de statistique de l'UNESCO (*ISU*), moins de 30 % des chercheurs dans le monde sont des femmes. (...) Mais pour vraiment réduire l'inégalité entre les sexes, nous devons dépasser les chiffres et identifier les facteurs qualitatifs qui dissuadent les femmes de faire carrière en science, technologie, ingénierie et mathématiques (STIM). »

<https://uis.unesco.org/fr/topic/les-femmes-et-la-science>

En effet, historiquement l'astronomie, la physique, l'ingénierie n'ont jamais été des domaines féminisés. Mais aujourd'hui, avec conscience et détermination, les scientifiques du CPPM œuvrent pour lutter contre ce préjugé. En travaillant ensemble, hommes et femmes, nous pouvons faire progresser la science plus rapidement !

Actuellement impliquées au CPPM dans l'expérience internationale KM3NeT, **des ingénieures et des chercheuses expliqueront pourquoi et comment elles ont fait le choix de travailler dans le milieu de la recherche.**

### **Vidéos sur les métiers pour faire avancer la science**

De nombreuses **compétences** aussi bien scientifiques, techniques qu'industrielles sont nécessaires pour mener à bien les projets scientifiques. Disséminées dans les différents espaces thématiques, une quarantaine de **vidéos courtes, d'une durée de 1'30**, permettront au visiteur de découvrir les différents métiers nécessaires et ce qui animent tous les jours les personnes qui font avancer la science.

### **Quand la science inspire les artistes**

Des artistes plasticiens seront également présents à cette exposition.

#### **L'artiste Tim Otto Roth (Berlin, Allemagne)**

Pour promouvoir la science et plus particulièrement l'astronomie neutrino, l'installation AIS<sup>3</sup> a été conçue par l'artiste Tim Otto Roth. Imaginé comme un détecteur de neutrinos à échelle réduite, le public s'immerge ainsi dans le domaine des astroparticules à l'aide d'éléments qui allient la lumière et le son. Des sphères en plastique, rangées sur des lignes tels des capteurs de lumière d'un télescope à neutrinos seront disposées dans un espace du fort Napoléon. Chaque sphère contient deux haut-parleurs et plusieurs LED. L'installation est contrôlée par un ordinateur comprenant un logiciel dédié.

L'artiste Tim Otto Roth : <http://www.imachination.net/about>

Les illustrations de l'installation : <https://www.imachination.net/ais3/>

Le document de présentation de l'installation (en anglais) : AIS\_Application\_ApPEC.pdf : [https://www.cppm.in2p3.fr/transfert/KM3NeT/MEUST-KM3NeT/AIS\\_Application\\_ApPEC.pdf](https://www.cppm.in2p3.fr/transfert/KM3NeT/MEUST-KM3NeT/AIS_Application_ApPEC.pdf)

#### **L'artiste Laurent Mulot (Lyon, France)**

Depuis plusieurs années, le plasticien Laurent Mulot et le metteur en scène Thierry Poquet de la compagnie Eolie Songe interrogent les dernières expériences en sciences physiques des particules élémentaires, pour imaginer des formes de spectacle qui concernent notre monde actuel. Leur dernier spectacle Augenblick Dream s'inspirait des recherches sur l'antimatière au sein du grand accélérateur de particules du CERN, situé à côté de la ville de Genève.

Aganta Kairos (saisir le temps métaphysique) est née de la rencontre de Laurent Mulot et de l'astrophysicien Thierry Stolarczyk. Cette œuvre prend appui sur l'expérience ANTARES qui a été installée en Méditerranée, au large de l'île de Porquerolles, un gigantesque télescope à neutrinos immergé à 2 500 m de profondeur, et a tissé un réseau humain sur les cinq océans. En effet, Aganta Kairos relie 6 points de la terre avec des témoins de l'invisible qui regardent la mer, le ciel et les étoiles au bord des 6 océans (incluant le Baïkal). Sur chaque lieu, Laurent Mulot réalise, avec des témoins locaux, une performance incluant la pose d'une plaque commémorative.

Laurent Mulot a été ensuite en résidence d'artistes à La Seyne-sur-Mer. S'adossant à l'œuvre d'Aganta Kairos présente sur les 6 océans (Lac Baïkal compris), il a conçu une œuvre qui s'inspire des expériences mondiales de détection de neutrinos : ANTARES et KM3NeT. Un ensemble d'actions ont jalonné la présence de l'artiste sur le territoire.

La version théâtrale d'Aganta Kairos co-dirigée par Laurent Mulot et Thierry Poquet a été montrée à quatre reprises sur la scène nationale de Chateaufallon et plus de vingt dates de représentation en France.

<https://www.institutfrancais.com/fr/magazine/portfolio/aganta-kairos-de-laurent-mulot>

Teaser Archipel Aganta Kairos : <https://vimeo.com/252668803>

### **L'artiste Donald Fortescue (San Francisco, Etats-Unis)**

Donald Fortescue a créé un instrument produisant des sons. Celui-ci a été installé dans une sphère en verre - que KM3NeT utilise pour les Digital Optical Module (DOM) – et accueillant un équipement d'enregistrement sonore et vidéo. Cet instrument, appelé "Bathysphère", a été déployé pour la première fois à côté du réseau ORCA de KM3NeT, au large de Toulon, le 23 septembre 2021.

L'un des résultats de ce projet est l'œuvre vidéo "*Below the Surface*". Cette œuvre incorpore le son et la vidéo enregistrés par la "Bathysphère" alors qu'elle flottait à la surface de la Méditerranée puis lors de sa plongée jusqu'à 300 mètres de profondeur. Au fur et à mesure que la "Bathysphère" plongeait, l'instrument qu'elle contenait s'est éteint. Le son de la partie de la vidéo consacrée à la plongée a été créé à partir de la sonification des données du réseau ORCA de KM3NeT qui ont été enregistrées pendant la plongée de la "Bathysphère".

Pour la sonification, des notes musicales ont été assignées à des zones distinctes de chaque DOM, de manière à éviter de fortes dissonances et à permettre une gamme complète de six octaves sur toute la profondeur du réseau. Cela nous a permis de reproduire la dimensionnalité du détecteur et la distribution géométrique du signal sonore. Un filtre a été utilisé, au niveau du DOM, sur les données de bas niveau du détecteur afin d'éviter les bruits discordants et de se concentrer davantage sur des activités environnementales et atmosphériques cohérentes. Pour produire la piste de "*Below the Surface*", environ 0,4 seconde de données ont été utilisées, à partir du 23 septembre 2021 à 16:34:00 UTC, ce qui coïncide avec la profondeur maximale atteinte par la Bathysphère au cours de sa troisième plongée. Nous avons choisi un instrument numérique basé sur le glockenspiel pour la sonification de "*Below the Surface*", car celui-ci est un instrument proche des sons produits par la "Bathysphère".

<http://www.donaldfortescue.com/below-the-surface>

## **Concours international de dessins « Dessine-moi un neutrino »**

**Réalisés dans le cadre d'un concours international, des dessins sélectionnés seront exposés.**

La Collaboration KM3NeT ainsi que le Centre National de la Recherche Scientifique et le Laboratoire d'Excellence UnivEarthS ont organisé le concours de dessin "Dessine-moi un neutrino".

Des participants de France, Géorgie, Grèce, Italie, Maroc, Afrique du Sud et Espagne ont été invités à soumettre en 2020, leur meilleure représentation d'un neutrino.

Les dessins pouvaient être réalisés avec n'importe quelle technique ou support (les dessins numériques sont les bienvenus) et ont été jugés sur la base de leur originalité, de la créativité manifestée par l'auteur et de l'harmonie avec les propriétés et l'origine des neutrinos.

Trois groupes différents ont pu participer au concours :

- Les scientifiques en herbe ont imaginé à quoi ressemble un neutrino électronique ;
- Les adolescents qui avaient déjà été en contact avec la physique se sont chargés de dessiner un neutrino muonique ;
- Les adultes ont été invités à dessiner un neutrino tauonique.

Aux côtés des concours nationaux organisés dans les pays susmentionnés, un concours international a été organisé. Les dessins sélectionnés ont fait partie d'une exposition au Musée national archéologique de Naples, en Italie, en 2020. En plus de recevoir une sélection de cadeaux de KM3NeT, les gagnants ont également eu la possibilité de donner leur nom à l'un des capteurs déployés en mer Méditerranée qui participera aux prochaines découvertes faites avec KM3NeT.

Un prix spécial 'école' a été attribué par le Laboratoire d'Excellence UnivEarthS.

Au travers de ce concours, la collaboration KM3NeT a cherché à familiariser le grand public à la science réalisée avec cette nouvelle installation européenne actuellement en construction à plus de 2 000 mètres de profondeur dans la mer Méditerranée. Alors que l'achèvement du détecteur, dont les sites seront situés au large de Toulon, en France et de Capo Passero en Italie, est attendu pour 2026, la Collaboration recherche déjà la meilleure illustration des neutrinos à détecter !

**A l'instar de ce concours, nous proposerons aux scolaires, de représenter un neutrino tel qu'ils l'ont perçu au cours de leur visite de l'exposition.**



## Un forum de valorisation technologique

Ouvert aux scientifiques et aux industriels, l'objectif de ce forum valorisation technologique est de partager le vécu de chacun, des retours d'expérience, d'échanger et de répondre aux questions des uns des autres, voire d'être sensibilisé davantage à deux sujets suivants : l'éco-responsabilité et l'équipression.

Deux sessions seront organisées.

La première session se déroulera le mercredi 20 septembre après-midi et traitera de l'éco-responsabilité dans l'exploration sous-marine, depuis la genèse jusqu'au démantèlement du projet. Ce thème général est d'actualité et concerne tout le monde.

La deuxième session se tiendra le mercredi 4 octobre après-midi et aura pour sujet l'équipression. Le thème est certes plus technique que le précédent mais c'est un sujet de travail commun à tous les organismes travaillant dans les profondeurs, où la résistance à la pression est une condition au bon fonctionnement des instruments déployés.

Ces forums auront lieu exclusivement avec les industriels, les scientifiques, les personnels du CPPM et les organismes partenaires qui répondront favorablement à la sollicitation du CPPM. Ils constitueront des moments d'échanges entre toutes les personnes concernées et intéressées par les thématiques abordées.

Le déroulement du forum s'effectuera d'abord par une présentation du cadre (déroulement et enjeux du forum) puis des personnes présentes. La définition du sujet en sera bien précisée pour que tous les participants aient le même niveau de connaissances. La problématique sera plus finement abordée avec les sujets de la thématique afin de laisser place à la discussion.

Ces deux sessions permettront de favoriser de nouveaux partenariats, de discuter et d'échanger sur les besoins et les développements nécessaires au déploiement au détecteur KM3NeT.

D'ores et déjà, des entreprises ont été intéressées par les technologies développées dans le cadre des projets « neutrinos » et notamment sur la thématique de l'équipression. Huit entreprises ont déjà répondu favorablement à ces forums : BMTI Alseamar, FOSELEV Marine, Nortek, Orange Marine, OSEAN, SAAS Comex Marine. D'autres entreprises ont été contactées par l'intermédiaire du Pôle Mer Méditerranée et Toulon Var Technologies.

De plus, dans un espace « défis technologiques », des posters et des maquettes montreront leurs savoir-faire et leurs réalisations spécifiques aux projets « neutrinos ».

## LES THEMATIQUES SCIENTIFIQUES

### Une nouvelle façon d'observer l'Univers

#### **Le neutrino, messenger du cosmos**

Bien que nous baignions dans un océan de neutrinos, et que des milliards d'entre eux nous traversent à chaque seconde, on en sait bien moins sur ces particules que sur les autres constituants de la matière. Pourtant, les neutrinos pourraient être la clé de bien des mystères du cosmos. D'abord parce qu'ils jouent un rôle fondamental dans l'explosion d'étoiles en fin de vie, ce que les astronomes appellent des supernovæ. Ensuite, parce que leur compréhension fine pourrait nous mettre sur la piste du fait– inexplicable jusqu'ici – que l'Univers est aujourd'hui constitué essentiellement de matière, alors qu'à sa naissance, lors du Big Bang, autant de matière que d'antimatière auraient été créées. Cette disparition de l'antimatière primordiale pourrait s'expliquer par des caractéristiques fines des neutrinos. Indirectement, les neutrinos pourraient même nous aider à identifier la nature de la matière noire, cette matière inconnue dont on ne constate que les effets gravitationnels à toutes les échelles dans l'Univers. À l'instar des neutrinos solaires, qui ont fourni la preuve des mécanismes de fusion nucléaire au cœur du Soleil, l'observation de ces particules apporterait de nouvelles connaissances sur toutes sortes d'astres. Bref, l'étude des neutrinos cosmiques ouvrirait une nouvelle fenêtre d'observation sur l'Univers.

Pour capter les neutrinos, on a besoin d'une grande quantité de matière. C'est pourquoi on utilise la Terre entière comme cible. Et quand ils interagissent avec la matière, les neutrinos produisent des particules chargées qu'il est possible de déceler grâce aux sillages lumineux (lumière Tcherenkov) qu'ils engendrent en se propageant dans l'eau. C'est cette lumière, ténue et fugitive, qu'ont scruté les 900 yeux d'ANTARES pendant près de 20 ans et que vont scruter les milliers d'yeux du détecteur KM3NeT.

#### **ANTARES, le premier télescope sous-marin à neutrinos**

Initié en 1996 par le CPPM (CNRS/IN2P3) et le Dapnia (CEA/DSM, aujourd'hui l'Irfu), en collaboration avec l'Ifremer et des laboratoires du CNRS/INSU, le projet ANTARES a été mené par une collaboration internationale regroupant plus de 200 scientifiques issus d'une quinzaine de laboratoires du monde entier.

Une première phase de R&D, conclue en 1999 par le déploiement d'une ligne « démonstrateur », reliée à la côte par un câble électro-optique, a permis de valider les technologies nécessaires à la construction du télescope et de déterminer les caractéristiques des sites potentiels de déploiement.

A partir de l'année 2000, le projet est entré dans une deuxième phase, la construction du télescope et son immersion sur le site retenu au large des côtes varoises par 2500 mètres de profondeur. Ce télescope sera constitué de 900 capteurs de lumière répartis sur une douzaine de lignes et couvrira une surface effective d'environ un dixième de kilomètres carrés.

La mise en place des installations sur le site a démarré en novembre 2001 avec le déploiement du câble électro-optique, long d'une quarantaine de kilomètres, reliant le détecteur à la

station de contrôle à terre : l'Institut Michel Pacha à La Seyne-sur-Mer. L'opération majeure de connexion de la boîte de jonction à l'extrémité de ce câble a été réalisée avec succès début décembre 2002.

Deux lignes prototype de détection ont été également déployées, respectivement en décembre 2002 et février 2003, une ligne de détection de neutrinos équipée de 15 capteurs et une ligne d'instrumentation pluridisciplinaire. Ces deux lignes ont été raccordées à la boîte de jonction en mars 2003.

Toutes ces connexions ont été réalisées par le *Nautile*, le sous-marin grand fond de l'Ifremer.

Les 12 lignes définitives du détecteur ANTARES, ainsi qu'une 13<sup>e</sup> ligne d'instrumentation pluridisciplinaire, ont été construites et déployées entre 2006 et 2008. Les sous-ensembles des composants des lignes ont été assemblés dans les différents laboratoires européens, partenaires de l'expérience. Les opérations de déploiement et de connexions sous-marines ont été réalisées à l'aide du navire à positionnement dynamique *CASTOR02* de FOSELEV Marine et du sous-marin robotique *Victor* de l'Ifremer.

Le détecteur ANTARES a été en prise de données continue pendant plus de 15 ans jusqu'en janvier 2022. Il a enregistré environ 15000 neutrinos, la grande majorité d'entre eux produits par les interactions des rayons cosmiques avec l'atmosphère terrestre, ainsi que des neutrinos de grande énergie provenant de sources cataclysmiques de l'Univers. Au fil des années, les analyses des données du détecteur ANTARES ont donné lieu à plus d'une centaine de publications scientifiques, et ont permis des avancées significatives sur l'astronomie multi-messagers, l'origine des rayons cosmiques, les recherches de Matière Noire et les mesures de propriétés intrinsèques des neutrinos.

## **ANTARES, un observatoire pluridisciplinaire permanent**

ANTARES représentait aussi un observatoire sous-marin pluridisciplinaire permanent, pouvant intéresser les sismologues, les biologistes et les chercheurs en sciences de la mer. Installée aux côtés des 12 lignes de détection des neutrinos, la ligne d'instrumentation est en effet une ligne supplémentaire spécifique qui constitue une véritable plate-forme d'interface pouvant accueillir des instruments de mesure variés : courantomètres, sonde de température et de salinité, détecteurs de bioluminescence, sismographe, ... Elle a fourni des mesures de propriétés océanographiques du site (température, salinité, amplitude et direction des courants...), et de propriétés sismiques et a permis des études *in situ* de la bioluminescence marine par grand fond.

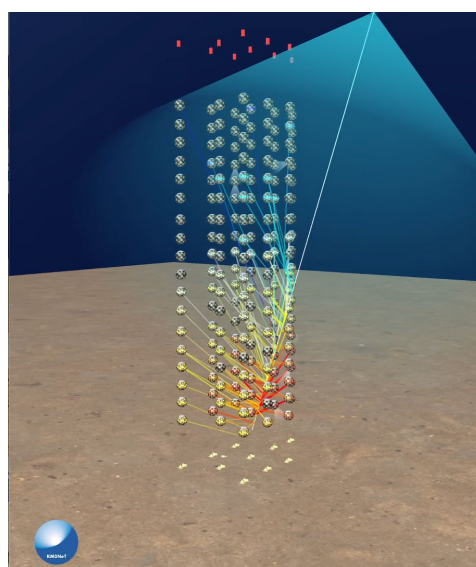
## **KM3NeT, la deuxième génération de détecteur à neutrinos**

Dès sa conception, ANTARES ne constituait qu'une première étape vers la construction d'un instrument plus important, KM3NeT (<http://www.km3net.org/>), couvrant un volume d'environ 1 km<sup>3</sup> en vue d'étudier plus précisément l'Univers avec les neutrinos et ces particules elles-mêmes. KM3NeT sera constitué à terme de près de 200 000 capteurs de lumière. Ils seront répartis sur plusieurs centaines de lignes installées sur deux sites sous-marins profonds, afin de capturer les faibles sillages de lumière émis par les particules chargées produites par interaction des neutrinos avec la matière terrestre. Un premier

détecteur, baptisé ARCA (Astroparticle Re-search with Cosmics in the Abyss), installé au large de la Sicile par 3500 mètres de profondeur, est dédié à la recherche de neutrinos de grande énergie provenant d'événements cataclysmiques se produisant dans l'Univers tels que des supernovæ ou la formation et l'évolution de trous noirs. Un second détecteur, baptisé ORCA (Oscillation Research with Cosmics in the Abyss), est en construction au large de Toulon par 2450 mètres de profondeur. Il permettra des mesures de précision inégalées de certaines propriétés fondamentales de ces mystérieuses particules que sont les neutrinos, en particulier liées à leur masse.

Le détecteur KM3NeT/ORCA sera formé à terme par une matrice tridimensionnelle de 2070 "yeux" agencés sur 115 lignes flexibles. Les lignes sont ancrées au sol et maintenues verticales grâce à un flotteur de tête. Elles sont déployées sur le fond marin à l'aide du navire à positionnement dynamique *CASTOR02* de FOSELEV Marine, sous contrôle d'un système de positionnement acoustique précis fourni par la société Exail/iXblue. Ces lignes sont ensuite connectées aux nœuds de connexion de l'infrastructure sous-marine LSPM à l'aide d'un robot sous-marin Apache, piloté par la société SAAS Comex Marine, permettant leur alimentation et l'acheminement des données jusqu'à la terre à travers un câble électro-optique de 40 km atterrissant à la plage de Sablettes à La Seyne-sur-Mer. A ce jour, la salle de contrôle de ce détecteur est située à l'Institut Michel Pacha, qui hébergeait également celle du télescope ANTARES. Cette salle de contrôle sera prochainement déménagée dans un nouveau bâtiment en construction sur le campus Ifremer/CNRS de Brégaillon à La Seyne-sur-Mer.

La Collaboration KM3NeT est composée d'environ 250 scientifiques de 57 instituts et de 17 nations qui participent à sa construction et à l'analyse de ses données. Initialement formée uniquement de pays européens, la Collaboration s'est élargie pour inclure d'autres collaborateurs européens de pays comme la Russie, la République Tchèque, la Slovaquie et la Géorgie, ainsi que des institutions non européennes du Maroc, d'Afrique du Sud, d'Australie, de Chine, d'Algérie et des Émirats Arabes Unis.



*Module optique KM3NeT (à gauche). Événement neutrino KM3NeT (à droite) - crédit KM3NeT Collaboration*

**Contact :** Vincent Bertin, chercheur CNRS au Centre de Physique des Particules de Marseille, [bertin@cppm.in2p3.fr](mailto:bertin@cppm.in2p3.fr)

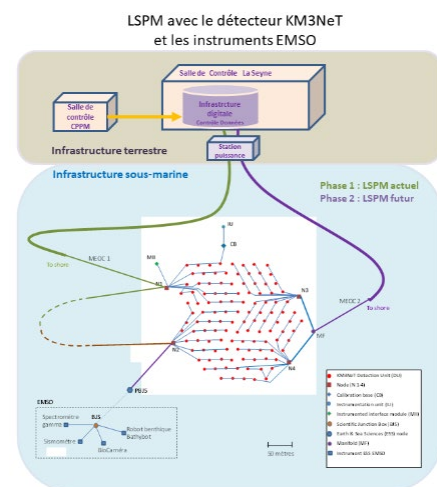
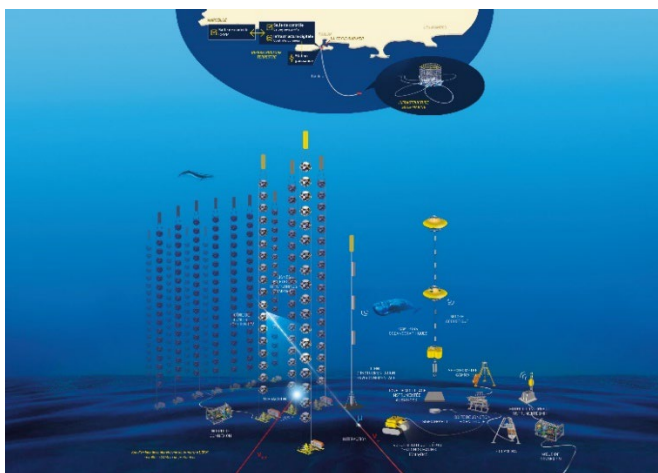
## Un accès unique aux abysses

Le télescope KM3NeT fonctionne grâce à une plateforme sous-marine, Laboratoire sous-marin Provence Méditerranée (LSPM), située à 2450 m de profondeur, en Méditerranée, à une quarantaine de kilomètres, au large des côtes provençales.

L'infrastructure LSPM fournit aux scientifiques du milieu marin des possibilités sans précédent d'études interdisciplinaires grâce à un accès en continu à une puissance électrique significative, un haut débit de données, une haute résolution temporelle, la connectivité réseau, le tout sur une durée de plus 15 ans. Elle bénéficie d'une flotte de bateaux et de sous-marins pour installer les équipements.

La plateforme LSPM a également vocation à s'ouvrir au monde industriel en offrant des possibilités de connexions, par exemple pour des tests de systèmes en temps réel (instrumentation de mesure, robotique, connectique) de longue durée en grande profondeur. Le LSPM est une plateforme nationale de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS. Aix-Marseille Université (AMU) et Ifremer participent au pilotage de cette infrastructure orientée vers la recherche pluridisciplinaire et la culture scientifique.

Le Centre de physique des particules de Marseille (CPPM, CNRS/IN2P3 - Aix-Marseille Université) constitue le laboratoire hôte pour cette plateforme. Le LSPM est également labellisé "Plateforme technologique AMU" afin de structurer l'offre de compétences et de la rendre plus facilement accessible au monde socio-économique et académique.



*Vue d'artiste de l'infrastructure du LSPM - crédit Camille Combes, Agence Ouvreboite (à gauche).  
Schéma du réseau sous-marin - crédit CPPM (à droite).*

C'est une plateforme sous-marine scientifique pluridisciplinaire et technologique, unique et ouverte à l'international. Elle constitue un pôle d'attractivité scientifique et technologique de rang mondial, pour l'étude des neutrinos et de l'environnement marin.

Les dispositifs installés de manière permanente au fond de la mer permettent d'obtenir des données en continu et en temps réel pour étudier l'environnement marin. Cette possibilité ouvre des opportunités sans précédent aux sciences environnementales pour, par exemple étudier l'évolution du climat et de la circulation océanique, la faune des abysses en particulier



les cétacés, la biodiversité, la géodynamique du bassin Ligurien, les risques sismiques et les tsunamis.

La composante océanographique hébergée par le LSPM appartient au réseau d'observatoires sous-marins de l'infrastructure de recherche européenne EMSO-ERIC (European Multidisciplinary Subsea Observatory). Répartis dans les mers du pourtour européen, les différents sites du réseau permettent l'étude de l'impact du réchauffement climatique sur les océans entourant l'Europe, mais aussi des écosystèmes marins profonds dans une optique de recherche fondamentale et de gestion durable.

KM3NeT et EMSO-ERIC sont identifiés comme projets prioritaires dans la feuille de route européenne ESFRI et ont été financés par l'Union Européenne pour leurs phases préparatoires. Au niveau mondial, KM3NeT et EMSO-ERIC se développent en coordination avec les projets similaires des autres continents (télescope à neutrinos IceCube au Pôle Sud et observatoires sous-marins NEPTUNE au Canada, OOI aux Etats-Unis, et DONET au Japon).

<http://www.lspm.in2p3.fr>

Contacts : Paschal Coyle, chercheur CNRS, responsable scientifique – Pascale Keller, ingénieur CNRS, responsable opérationnelle, [lspm@in2p3.fr](mailto:lspm@in2p3.fr)

## Sous-marin benthique



*BathyBot et BathyReef dans le bassin d'essai de l'Ifremer - crédit Dorian Guillemain OSU Pythéas*

L'Institut méditerranéen d'océanologie (MIO et DT-INSU) a développé pour l'observatoire LSPM le robot sous-marin benthique BathyBot, un rover destiné à explorer le plancher océanique. Équipé de chenilles pour se déplacer sur le fond sédimentaire, il sera contrôlé depuis la côte au travers du réseau de l'infrastructure sous-marine. BathyBot embarque plusieurs sondes ou analyseurs pour mesurer régulièrement la température, les concentrations d'oxygène, de gaz carbonique, la vitesse et la direction du courant, la salinité et la concentration en particules (turbidité). Ce sera le premier robot de ce genre installé en profondeur en Europe, mis en place pour une dizaine d'années.

BathyBot s'oriente à l'aide d'une caméra équipée d'une lumière blanche et une seconde caméra scrute la bioluminescence avec une telle sensibilité qu'elle n'aura pas besoin d'éclairage ou seulement une lumière rouge, connue pour ne pas effrayer les organismes des profondeurs. BathyBot sera assez mobile pour mettre en place des stratégies de surveillance

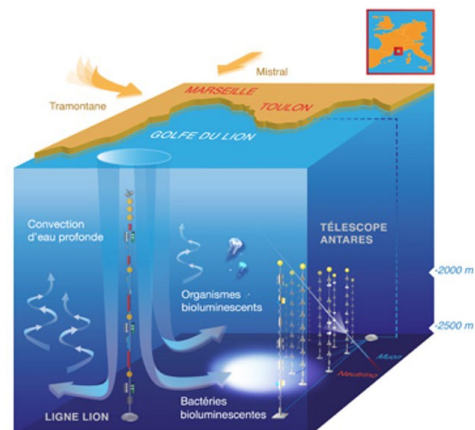
adaptées si besoin et couvrir l'espace autour de points stratégiques. Un câble de 50 m reliant le rover à sa « station d'accueil » le connecte au réseau du LSPM, pour le pilotage et la récolte de données. Il devra dans un premier temps être piloté par un opérateur depuis la terre ferme, mais certaines tâches pourront être automatisées à l'avenir.

BathyReef forme une rampe d'accès se concluant par une aire sur laquelle BathyBot peut se placer pour effectuer des observations puis se retourner pour en redescendre. Des poteaux inspirés de la morphologie des ascidies constituent une "sous-rampe", créant un paysage de grotte caverneuse. Cette structure bio-inspirée est largement ajourée pour faciliter la circulation d'eau, et augmenter la stimulation mécanique de la bioluminescence des organismes passant au travers, tout en fournissant une multitude d'abris pour le vivant.

Le duo formé par BathyReef et BathyBot sera le premier à proposer le suivi de la colonisation d'un récif artificiel immergé volontairement à de telles profondeurs. A l'heure actuelle, il n'existe pas encore de preuves que la mise en place d'une structure artificielle en milieu profond peut augmenter l'abondance d'organismes marins profonds.

**Contact :** Christian Tamburini, chercheur CNRS à l'Institut Méditerranée d'Océanologie, [christian.tamburini@mio.osupytheas.fr](mailto:christian.tamburini@mio.osupytheas.fr)

## Etudes de la bioluminescence



*Poisson baudroie (à gauche). 'Deep water' formation dans le golfe du Lion (à droite) – crédit Mathilde Destelle.*

La lumière du soleil ne pénètre pas à 2450 mètres de profondeur mais une partie des organismes vivants en grandes profondeurs émettent leur propre lumière par bioluminescence (émission de lumière par des organismes vivants). L'un des domaines de recherche d'intérêt sur le site du LSPM est le suivi de ces organismes bioluminescents liés aux processus physiques dans l'environnement profond. Environ 75% des organismes marins sont décrits comme capables de bioluminescence, faisant de cette détection lumineuse un proxy d'intérêt pour le suivi des populations en milieu marin de la surface jusqu'au fond de l'océan. La lumière émise est une activité biologique en zone profonde et son observation en continu doit permettre de séparer les contributions des bactéries des autres organismes.

A partir des données enregistrées par les détecteurs de photons constituant le télescope à neutrinos, il a été montré que l'activité bioluminescente était exacerbée sous les forçages physiques atmosphériques générant des forçages physiques océaniques (plongées des eaux de surface vers le fond). Ceci a été observé lorsque les eaux méditerranéennes profondes du bassin ligurien sont modifiées lors de phénomènes de convection profonde se produisant dans le Golfe du Lion.



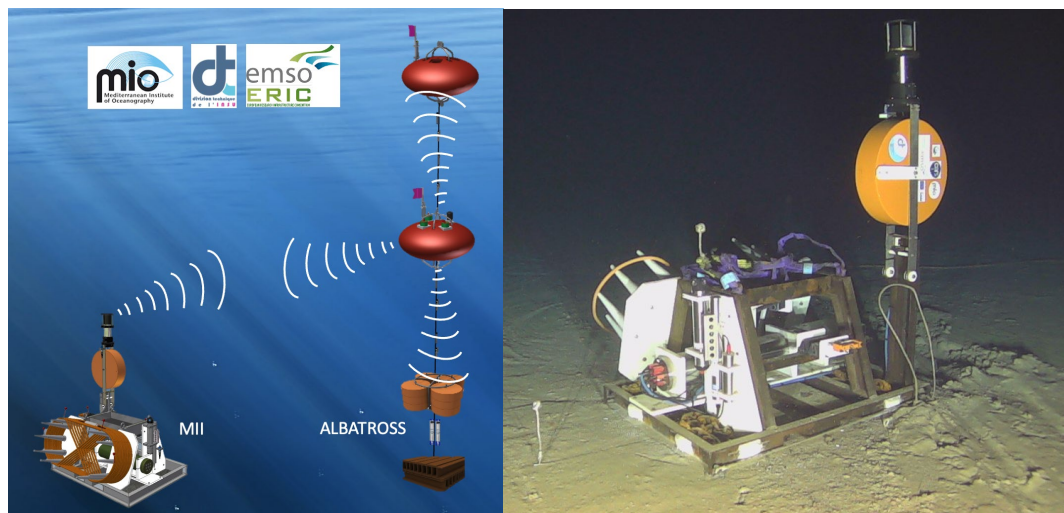
*La Biocamera – crédit IP2I*

Une voie de recherche complémentaire consisterait à caractériser des espèces responsables, grâce à une Biocamera fournissant des images de l'animal bioluminescent. Ce travail n'a jamais été réalisé *in situ*. La Biocamera est constituée d'un système de deux caméras couleur statiques positionnées sur un tripode à 1,3 mètre au-dessus du plancher océanique : sensible et intelligent, elle permet la programmation de scénarios de stimulation lumineuse des espèces profondes ainsi que l'observation d'événements passagers. Une grande variété de stimuli pourra être testée, pour plusieurs couleurs, à des fréquences et intensités différentes. Une détection automatisée par alerte sur les événements passagers sera programmée pour une surveillance continue sur plusieurs années. L'étude sur le long terme de l'atténuation de la lumière par l'eau et les sédiments permettra d'analyser la composition de l'eau du plancher océanique. Ces mesures pourront être corrélées aux observations des autres instruments.

La biocamera a été mise au point par des équipes de l'Institut de physique des deux Infinis de Lyon (IP2I, CNRS/Université Claude Bernard Lyon 1) et de la Division technique de l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS (DT INSU).

**Contacts:** Séverine Martini, chercheuse CNRS à l'Institut Méditerranée d'Océanologie, [severine.martini@mio.osupytheas.fr](mailto:severine.martini@mio.osupytheas.fr), Rémi Barbier, chercheur CNRS à l'Institut de Physique des deux Infinis de Lyon [r.barbier@ip2i.in2p3.fr](mailto:r.barbier@ip2i.in2p3.fr)

## Propriétés hydrologiques de la colonne d'eau



*Communication acoustique entre MII et la ligne ALBATROSS (à gauche).  
MII sur le fond marin (à droite) – crédit Ifremer.*

EMSO, European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory, est un ERIC (European Research Infrastructure Consortium), un réseau Européen d'observatoires du fond de mer et de la colonne d'eau au point fixe qui a pour objectif scientifique d'observer en temps réel les processus environnementaux liés avec les interactions entre géosphère, biosphère et hydrosphère. EMSO-ERIC vise à acquérir des séries temporelles longues (10 à 20 ans au moins) dans les mers du pourtour européen, de l'Arctique à l'Atlantique, de la Méditerranée à la mer Noire, avec pour objectifs principaux :

- l'étude de l'impact du changement climatique sur les océans entourant l'Europe,
- l'étude des écosystèmes marins profonds dans une optique de recherche fondamentale mais aussi de gestion durable, en s'intéressant particulièrement aux facteurs anthropogéniques et climatiques,
- l'étude des processus tectoniques, volcaniques, hydrothermaux et gravitaires et la surveillance des risques naturels associés (séismes, tsunamis, instabilité des pentes) pour les zones côtières à forte densité de population.

Les objectifs scientifiques de cet observatoire eulérien sont :

- Dynamique des propriétés hydrologiques long termes
- Dynamiques des masses d'eau (mélange advectif, convectif, cascading versus vertical) et leurs impacts sur le bilan des propriétés biogéochimiques.
- Flux de matière organique sur la colonne d'eau, effet sur le bilan carbone régional, désoxygénation de l'océan, acidification océanique.
- Suivi de la biodiversité marine et de la vie en milieu profond, incluant la bioluminescence.

Le site EMSO–Ligure Ouest, site de LSPM au large de Toulon, permet l'acquisition de mesures continues pérennes, *in situ* et en temps réel, avec pour objectif une étude plus complète du milieu, de la surface au fond, de la côte vers le large avec une prise en compte d'un des moteurs principaux de la circulation océanique de surface, le Courant Nord (Courant Liguro-Provençal-Catalan) ainsi que de la formation d'eau profonde, les flux de matière de la surface

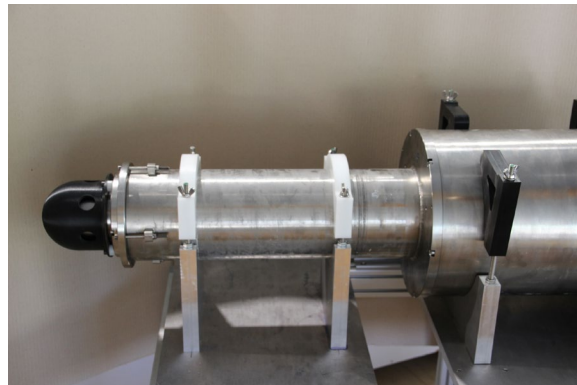
vers le fond (*i.e.* quantification de la pompe biologique de carbone) et les processus biogéochimiques associés.

La ligne ALBATROSS est constituée de deux câbles inductifs de 1000m de long, reliés à un ordinateur embarqué par l'intermédiaire d'un modem inductif. La ligne est instrumentée de dix CTD et de cinq courantomètres, permettant une couverture plus étendue de la colonne d'eau (500 m jusqu'au fond). Toutes les 30 minutes, les données des instruments installés le long de la ligne sont collectées par l'ordinateur. Un fichier journalier est ensuite envoyé au module d'interface du MII par transmission de données acoustiques, et de là à terre *via* le réseau câblé de l'infrastructure sous-marine LSPM. Actuellement, les données incluent la pression, la température, la conductivité, l'oxygène dissous, les matières en suspension, le courant (vitesse et direction). La ligne d'amarrage ALBATROSS est ouverte à la communauté et est disponible pour accueillir de nouveaux capteurs. Les données sont publiques et disponibles via le serveur ERDDAP de l'OSU Pythéas,

<https://erddap.osupytheas.fr/erddap/search/index.html?page=1&itemsPerPage=1000&searchFor=ligure>).

**Contact :** Dominique Lefèvre, chercheur CNRS à l'Institut Méditerranéen d'Océanologie, [dominique.lefevre@mio.osupytheas.fr](mailto:dominique.lefevre@mio.osupytheas.fr)

## Etude de la radioactivité



*Le spectromètre gamma (à gauche). Déploiement du spectromètre gamma (à droite) - crédit CPPM.*

La mesure de la radioactivité marine, initiée dans les années 1950 par l'Union Soviétique, s'est étendue depuis cette période à la plupart des pays possédant un accès à la mer. Ce type de radio-métrie est une extension des mesures effectuées à la surface terrestre, et qui sont très largement utilisées aussi bien dans la recherche fondamentale (en géologie principalement) que pour des applications industrielles (recherche de gisements miniers) ou en radioprotection et en sûreté nucléaire.

Dans le cas de la radio-métrie marine, les études effectuées permettent, au-delà de l'analyse directe de fonds marins, d'étudier la composition et le transport de masses d'eau. Ainsi, le suivi temporel de la concentration de radio-isotopes naturels, tels le potassium 40 ou



les descendants des chaînes d'uranium et thorium, ouvre des perspectives très importantes pour la compréhension de la dynamique des océans et le phénomène d'érosion des fonds marins.

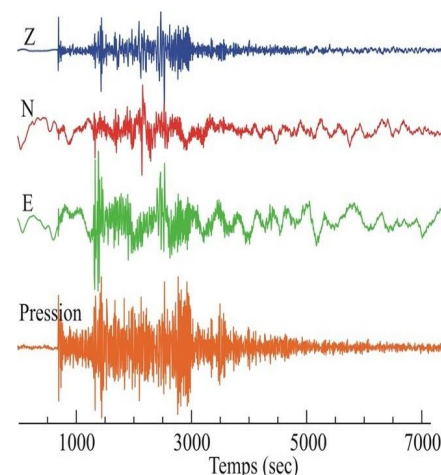
Au-delà de certains aspects de recherche fondamentale liés à la physique et la chimie des océans, la radio-métrie marine permet d'étudier l'impact de l'industrie nucléaire et d'autres activités annexes.

Actuellement, beaucoup de mesures sont réalisées avec des balises fixées au sol ou avec des détecteurs accrochés à des bateaux ou sur des sous-marins robotisés autonomes. Ces mesures sont cependant circonscrites le plus souvent à quelques centaines de mètres de la surface si bien que l'exploration radio-métrie directe des profondeurs marines reste pratiquement inexistante. Ceci est une limitation importante pour une compréhension globale et approfondie du milieu marin.

Ce système est une plateforme de radio-métrie sous-marine, permanente et à haute sensibilité. Cette plateforme de spectroscopie gamma, unique par ses caractéristiques et performances (très haute résolution en énergie et très grande profondeur), permettrait d'explorer un domaine totalement nouveau et très riche, complémentaire des mesures effectuées à faible profondeur.

**Contact :** Mathieu Perrin-Terrin, chercheur CNRS au Centre de Physique des Particules de Marseille, [mathieu.perrin-terrिन@c ppm.in2p3.fr](mailto:mathieu.perrin-terrिन@c ppm.in2p3.fr)

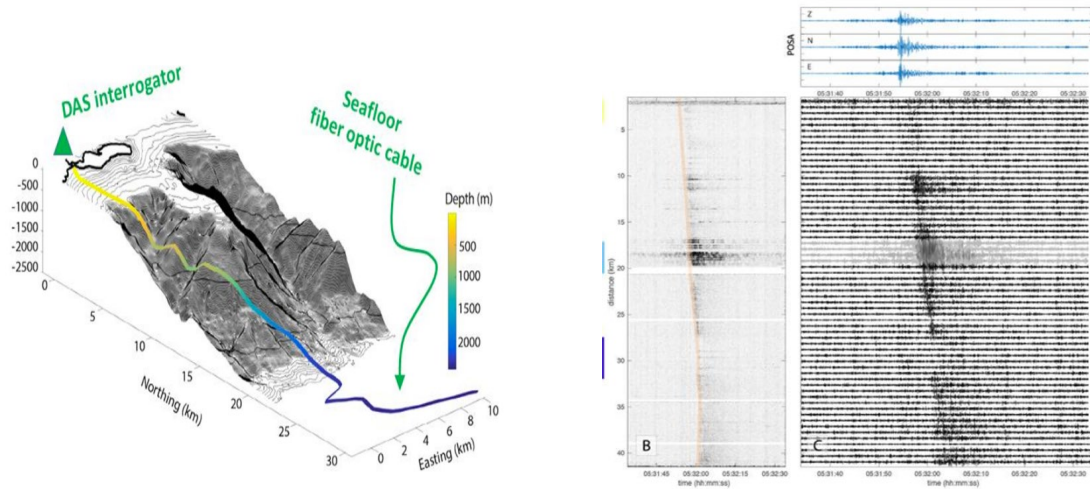
## Capteurs sismologiques



*Déploiement du sismographe (à gauche) – crédit Ifremer. Enregistrement d'un séisme au Pérou (à droite).*

Le laboratoire GéoAzur de l'Université Côte d'Azur effectue des mesures de l'activité sismique à l'aide de stations terrestres, en particulier en région Provence-Côte d'Azur, mais également en mer à partir de stations autonomes avec enregistrement des données. Cette équipe profite de l'infrastructure sous-marine LSPM pour installer un sismographe large bande sur le site. Le sismographe est enfoui dans le sédiment bien isolé d'éventuelles perturbations.

L'acquisition en temps réel des données sismologiques de ce capteur permettra en outre une première extension en mer du réseau de surveillance sismique de la côte provençale ainsi qu'une meilleure triangulation du foyer des séismes enregistrés. Cette expérience constitue une première étape vers la définition d'un large réseau sous-marin permanent de surveillance sismique de la région Provence-Côte d'Azur.



*Route du câble principal à fibre optique LSPM (à gauche). Enregistrement par 6500 capteurs le long de ce câble des ondes d'un séisme (M1.9) ayant eu lieu près de Nice (à droite).*

Récemment, l'équipe de Géoazur a également appliqué la nouvelle technique de détection acoustique distribuée (DAS), pour transformer une des fibres optiques du câble électro-optique principal du LSPM en un réseau géant de capteurs sismo-acoustiques. Le DAS exploite la phase de la lumière laser, qui est rétrodiffusée par les inhomogénéités inhérentes à la fibre de silice, pour fournir des mesures de déformation avec un espacement métrique tout le long des 42 km du câble LSPM. Le DAS peut fournir des mesures sismiques (venant du fond) et acoustiques (venant de la colonne d'eau) à haute fréquence (>1 kHz). La détection d'un tremblement de terre local a démontré pour la première fois que le DAS est directement applicable aux câbles de télécommunication du fond marin.

Du fait de son échantillonnage spatial et temporel dense des signaux sismo-acoustiques, dans les océans et le long de leurs marges, le DAS promet un large spectre d'applications scientifiques et environnementales, en temps-réel et sans interventions en mer. L'approche permet la surveillance de nombreuses autres sources de signaux acoustiques, tels que ceux générés par les mammifères, le trafic maritime ou la houle. Avec la longue durée de vie des câbles de communication du fond marin, généralement conçus pour fonctionner 25 ans, l'imagerie du fond marin pourrait aussi être répétée dans le temps pour surveiller les changements de ses propriétés, comme celles liées à l'érosion côtière, à la circulation des fluides ou à l'extraction. La longue quête pour suivre la dynamique des fonds marins au-delà de quelques points de prélèvement semble désormais à portée de main.

**Contact** : Anthony Sladen, chercheur CNRS au laboratoire Géoazur, Sophia-Antipolis, [sladen@geoazur.unice.fr](mailto:sladen@geoazur.unice.fr)

## Bioacoustique



*Rorqual commun - crédit Photo Jordi Chias*

Chaque espèce de mammifères marins émet des sons distinctifs qui peuvent être enregistrés par des hydrophones. Ces mêmes hydrophones sont également sensibles aux bruits anthropiques (navigation, exploration pétrolière, etc.).

L'action Bioacoustique consiste en la mise au point de détections automatiques de cétacés, acteurs clés de l'écosystème marin, applicables aux signaux des lignes équipées d'hydrophones haute et basse fréquence du détecteur KM3NeT/ORCA. Cette structure offre un large réseau tridimensionnel de capteurs acoustiques à large bande installés entre 2000 et 2500 mètres de profondeur, permettant la triangulation des sources acoustiques détectées. Les enregistrements acoustiques de KM3NeT ont d'ores et déjà contribué à la caractérisation de la structure du chant en Méditerranée. Les populations de rorquals communs ont des structures de chant spécifiques qui évoluent dans le temps.

La caractérisation inédite du chant du rorqual méditerranéen et son évolution depuis 1999 (Best et al. Scientific Reports 2022) vient compléter la connaissance du comportement vocal de l'espèce à travers le monde.

Les raisons de ces évolutions des chants (pour les rorquals et les baleines bleues) sont encore inconnues, avec certaines hypothèses impliquant un effet de changement de comportement de plongée (le changement de la profondeur d'émission de vocalise aurait un impact sur la fréquence émise).

La triangulation tri-dimensionnelle des rorquals que permet un réseau d'au moins 4 hydrophones tel qu'offert par KM3NeT pourrait permettre de mesurer la corrélation entre profondeur de chant et fréquence émise sur le long-terme, une mesure encore jamais réalisée qui représente un pas important dans la compréhension du comportement vocal de ces espèces.

Par ailleurs, la jonction des comportements de plongées avec des données environnementales (température de l'eau) permettra de mesurer le lien qui a été théorisé entre les deux (la profondeur du canal optimal de propagation des vocalises varie en fonction de la température de l'eau).

D'autre part, avec la remontée en temps réel des signaux acoustiques par fibre optique, le LSPM et KM3NeT s'inscrivent dans le réseau de réduction du risque de collision navire / cétacé de la côte provençale au côté des bouées Bombyx 2. La détection automatique permet en effet l'identification et la localisation des cachalots et rorquals, qui sera suivie d'une alerte donnée aux autorités pour prévenir les navires (cargos et ferries) afin qu'ils adaptent leur trajectoire en conséquence.

**Contact :** Hervé Glotin, professeur au [Laboratoire d'Informatique et des Systèmes \(LIS\)](#), Univ Toulon, [h.glotin@gmail.com](mailto:h.glotin@gmail.com)

## LES ORGANISATEURS DE L'EXPOSITION

### Le CPPM

Situé au cœur du Parc National des Calanques, sur le campus de Luminy, le CPPM est un laboratoire de recherche CNRS/IN2P3 et Aix-Marseille Université, qui compte environ 180 chercheurs, ingénieurs et doctorants. Le laboratoire étudie des sujets allant de la physique des particules à la physique des astroparticules et à la cosmologie, avec une forte force technologique en électronique, mécanique, instrumentation et informatique, permettant la conception et la construction de systèmes de détection de pointe, souvent appelés à fonctionner dans des conditions extrêmes : dans les profondeurs de la mer, dans l'espace ou sous terre. La plupart de nos recherches sont menées dans le cadre de collaborations scientifiques internationales de premier plan et nos contributions sont reconnues dans le monde entier. Nous sommes engagés dans le partage des connaissances : nous participons aux activités d'enseignement et de diffusion de la culture scientifique pour rendre visibles les travaux de la recherche française. Nous tissons des liens étroits avec les pôles de compétitivité et des entreprises pour valoriser nos résultats scientifiques et technologiques. Ainsi, les développements réalisés au CPPM dans le cadre de la recherche fondamentale ont vocation, dans la mesure du possible et en prenant en compte le temps long d'évolution de la technologie du fondamental à l'appliqué, à être transférés dans le monde socio-économique. Toutes les activités scientifiques et techniques du CPPM s'effectuent au service de la société et elles sont mises en lumière cette année dans le cadre des 40 ans d'existence du laboratoire. <https://www.cppm.in2p3.fr>

### La Mairie de La Seyne-sur-Mer

À La Seyne, les scientifiques du Centre de Physique des Particules de Marseille (CPPM, CNRS/IN2P3 – Aix-Marseille Université) ont les yeux plongés dans les étoiles. Un télescope sous-marin y observe des particules très légères et plus petites qu'un atome qui, infatigables voyageuses, traversent l'univers : les neutrinos. Là où l'obscurité règne, la lumière bleutée jaillit du fond marin à chaque impact de neutrinos. L'étude de ces rais de lumière permet de calculer leur trajectoire... et donc leur origine dans la nuit des temps. De l'infiniment petit, nous voyageons à travers l'infiniment grand. L'installation qui permet aussi d'étudier les fonds marins à l'aide de sismographes et caméras connectés au télescope, surveille ces abysses où personne ne peut aller. Nous sommes fiers que ces recherches fassent l'objet d'une exposition scientifique et pédagogique qui se tient au fort Napoléon du 15 septembre au 8 octobre 2023. Elle plongera, petits et grands, à la découverte des mystères du cosmos depuis les abysses de la Méditerranée.

## LES PARTENAIRES SCIENTIFIQUES

### CNRS

Le Centre national de la recherche scientifique est une institution publique de recherche parmi les plus connues et renommées au monde. Depuis plus de 80 ans, il répond à une exigence d'excellence au niveau de ses recrutements et développe des recherches pluri et interdisciplinaires sur tout le territoire, en Europe et à l'international. Orienté vers le bien commun, il contribue au progrès scientifique, économique, social et culturel de la France. Le CNRS, c'est avant tout 32 000 femmes et hommes et 200 métiers. Ses 1000 laboratoires, pour la plupart communs avec des universités, des écoles et d'autres organismes de recherche, représentent plus de 120 000 personnes ; ils font progresser les connaissances en explorant le vivant, la matière, l'Univers et le fonctionnement des sociétés humaines. Le lien étroit qu'il tisse entre ses activités de recherche et leur transfert vers la société fait de lui aujourd'hui un acteur clé de l'innovation. Le partenariat avec les entreprises est le socle de sa politique de valorisation. Il se décline notamment via près de 200 structures communes avec des acteurs industriels et par la création d'une centaine de start-up chaque année, témoignant du potentiel économique de ses travaux de recherche. Le CNRS rend accessible les travaux et les données de la recherche ; ce partage du savoir vise différents publics : communautés scientifiques, médias, décideurs, acteurs économiques et grand public.

<https://www.cnrs.fr/fr>

### Aix-Marseille Université

Plus grande université francophone pluridisciplinaire, Aix-Marseille Université (AMU) accueille 80 000 étudiants et près de 8 000 personnels sur 5 grands campus aux standards internationaux. Propriétaire de 90 % de son patrimoine, l'université est présente sur 9 villes, dans 4 départements de la Région Sud.

Sa Fondation universitaire A\*Midex, qui porte l'IDEX pérennisée, contribue au développement d'un pôle interdisciplinaire d'enseignement supérieur et de recherche de rang mondial. Dite « université de recherche intensive », elle abrite 122 structures de recherche en lien avec les grands organismes de recherche nationaux.

Faisant le pari de l'interdisciplinarité, qu'Aix-Marseille Université place au cœur de sa stratégie de développement, elle a récemment créé 18 instituts d'établissement garantissant les passerelles entre recherche et formation et une large ouverture à l'international. Des objets partenariaux intégrés aux territoires tels que la Cité de l'Innovation et des Savoirs Aix-Marseille (CISAM), les pôles d'innovation territoriaux (PIT) ou encore les plateformes technologiques en lien avec le CNRS et l'INSERM, témoignent de l'engagement d'AMU en faveur de l'innovation et de sa contribution à la création de richesses sociétales.

L'enseignement de formations de qualité, adossées à de grandes équipes de recherche, accompagnées de dispositif favorisant l'entrepreneuriat étudiant et la possibilité pour les



acteurs économiques d'accéder à ces ressources sont autant de leviers de développement territorial et de son rayonnement.

Université responsable, Aix-Marseille Université fait du « bien-vivre ensemble » une priorité. L'affirmation de son engagement pour le développement durable dans toutes ses dimensions - humaines, environnementales et patrimoniales- s'incarne dans de nombreuses actions et dispositifs : plan de déplacement, plan de gestion des déchets, sensibilisation des étudiants à l'urgence climatique et instauration d'un bonus développement durable, création du Conseil du climat d'AMU, mais aussi dispositif de lutte contre le harcèlement sexuel, sexiste et homophobe, application d'un schéma directeur du handicap, dispositif de lutte contre le Racisme et l'antisémitisme, nombreuses animations sportives et festives sur les campus. Largement ouverte sur le monde avec 10 000 étudiants internationaux et plus de 40 diplômes en partenariat international, AMU est depuis quelques mois lauréate de l'appel à projet de la Commission Européenne pour construire avec ses 9 partenaires européens « CIVIS, a European Civic University », contribuant aux grands défis sociétaux orientés particulièrement vers l'Afrique et la Méditerranée.

<https://www.univ-amu.fr/>

## **Université de Toulon**

L'Université de Toulon propose une centaine de formations dans 4 domaines d'études :

- Art Lettres Langues (ALL)
- Droit Économie Gestion (DEG)
- Sciences Humaines et Sociales (SHS)
- Sciences Technologies Santé (STS)

Elle accorde une importance particulière à la qualité de l'exercice de ses missions de formation, soutenue par la Direction des Études et de la Vie Étudiante (DEVE) et la Direction de la Formation Tout au Long de la Vie (FTLV).

Au sein des composantes, l'UTLN a mis en place des instances telles que les équipes de formation et les conseils de perfectionnement, afin d'offrir des parcours de formation lisibles, de qualité et attractifs.

La recherche est l'une des missions essentielles des universités. L'Université de Toulon compte près de 300 enseignants-chercheurs, répartis dans 15 laboratoires dynamiques et ouverts à l'international.

Ils organisent de façon régulière des séminaires et colloques, notamment lors des Journées Scientifiques, et participent activement à la publication et la valorisation de leurs travaux.

La diversité de la recherche est un véritable atout qui favorise aussi les actions transdisciplinaires, regroupées autour de thématiques communes. Dans ce sens, la recherche à l'UTLN est structurée autour de trois pôles interdisciplinaires :

- Mer, Environnement et Développement Durable
- Information, Numérique, Prévention
- Echanges et Sociétés Méditerranéennes

<https://www.univ-tln.fr/>

## **Ifremer**

Reconnu dans le monde entier comme l'un des tout premiers instituts en sciences et technologies marines, l'Ifremer s'inscrit dans une double perspective de développement durable et de science ouverte. Il mène des recherches, innove, produit des expertises pour protéger et restaurer l'océan, exploiter ses ressources de manière responsable, et partager les connaissances et les données marines afin de créer de nouvelles opportunités pour une croissance économique respectueuse du milieu marin.

Présents sur toutes les façades maritimes de l'hexagone et des outremer, ses laboratoires sont implantés sur une vingtaine de sites dans les trois grands océans : l'océan Indien, l'Atlantique et le Pacifique. Pour le compte de l'Etat, il opère la Flotte océanographique française au bénéfice de la communauté scientifique nationale. Il conçoit ses propres engins et équipements de pointe pour explorer et observer l'océan, du littoral au grand large et des abysses à l'interface avec l'atmosphère.

Ouverts sur la communauté scientifique internationale, ses 1500 chercheurs, ingénieurs et techniciens font progresser les connaissances sur l'une des dernières frontières inexplorées de notre planète ; ils contribuent à éclairer les politiques publiques et à l'innovation pour une économie bleue durable. Leur mission consiste aussi à sensibiliser le grand public aux enjeux maritimes.

Fondé en 1984, l'Ifremer est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), dont le budget annuel avoisine 240 millions d'euros. Il est placé sous la tutelle conjointe des ministères de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR), de la Transition écologique (MTE), de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA) et de la Mer (MiMer).

<https://www.ifremer.fr/fr>

## **DT INSU**

La Division Technique de l'INSU est une Unité d'Appui à la Recherche (UAR 855) de l'Institut National des Sciences de l'Univers du CNRS. La mission de la Division Technique est d'assurer la maîtrise d'œuvre du développement d'équipements scientifiques ainsi que la mise en œuvre opérationnelle de moyens nationaux en soutien à l'ensemble des laboratoires des secteurs scientifiques de l'INSU : Astronomie-Astrophysique, Océan-Atmosphère, Surfaces et Interfaces Continentales et Terre Solide.

Ses activités couvrent :

- La gestion opérationnelle, la maintenance et la mise en œuvre de moyens et instruments nationaux pour l'INSU dont certains font partie d'une IR ou TGIR : flotte océanographique des navires de station du CNRS, instrumentation embarquée sur ces navires, parc national d'instrumentation océanographique, parc géophysique, plate-forme d'étalonnage de pCO<sub>2</sub>, plate-forme de carottage continental, parc national glider.

- La recherche et développement technologique et la réalisation de projets de développement instrumental en partenariat avec les laboratoires dans le cadre de projets et/ou programmes INSU, CNES, ANR, Europe, EquipEX, etc, avec une prise en charge globale ou partielle.
- Le soutien et l'expertise informatique pour le développement de logiciels (base de données, applications web, IHM, contrôle commande).
- La participation à des campagnes de mesures océanographiques, aéroportées ou sur de terrain.
- La gestion de la flotte océanographique du CNRS : elle a toujours été assurée par l'armement de la flotte à la DT. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2020, à la demande du ministère, les deux navires de façade (Téthys II et Côtes de la Manche) ainsi que leurs équipages ont été transférés à Ifremer/Genavir. Le DT a par contre conservé la gestion des 7 navires de station.

<https://www.dt.insu.cnrs.fr/> - Site de La Seyne-sur-Mer, Tél : 33 (0) 4 94 30 49 80

## GéoAzur

Le laboratoire GéoAzur est une unité de recherche pluridisciplinaire composée de géophysiciens, de géologues, et d'astronomes se fédérant autour de grandes problématiques scientifiques : les aléas telluriques (sismiques, gravitaires et tsunamigéniques) et les risques associés, la dynamique de la lithosphère et l'imagerie de la Terre, la géodésie-métopologie de la Terre et de l'Univers proche...

Créé en 1996 de la fusion de quatre laboratoires de géosciences GéoAzur regroupe aujourd'hui plus d'une centaine de personnels permanents\* rattachés à quatre tutelles, deux locales : l'Université Côte d'Azur - UCA et l'[Observatoire de la Côte d'Azur - OCA](#) ; deux nationales : le [CNRS](#) - UMR 7329 et l'[IRD](#) - UR 082. Quatre personnels sont également rattachés à [Sorbonne Université](#).

De par cette richesse multi-organismes, les actions de GEOAZUR portent à la fois sur :

- La recherche fondamentale et la recherche appliquée,
- L'observation permanente dans le cadre des services nationaux,
- Le développement instrumental,
- La coopération scientifique internationale, dont le soutien aux pays du Sud pour la recherche et la formation,
- L'enseignement et la formation des étudiants,
- La diffusion des connaissances.

<https://geoazur.oca.eu/fr/acc-geoazur>

## **IP2I**

L'Institut de Physique des 2 Infinis de Lyon (IP2I) est une unité mixte de recherche (UMR 5822) du CNRS/IN2P3 et de l'Université Claude Bernard Lyon 1 (UCBL). L'IP2I héberge le Laboratoire des matériaux avancés (LMA), une « plate-forme nationale de recherche » de l'IN2P3. Le laboratoire est impliqué dans la plupart des domaines de la physique subatomique, à savoir la physique des particules du modèle standard et au-delà, les neutrinos, les astroparticules et la cosmologie, les ondes gravitationnelles, la structure nucléaire et le plasma quark-gluon. L'IP2I a par exemple été un acteur majeur dans la découverte du boson de Higgs au CERN. L'IP2I se positionne aussi à la frontière de l'astrophysique, sur les grandes questions de cosmologie, que sont la matière noire et l'énergie noire, pour comprendre la composition de l'Univers et son évolution. L'IP2I a aussi des activités interdisciplinaires sur des sujets à forts enjeux sociétaux liés à la santé (hadronthérapie) et à l'énergie nucléaire (retraitement et matériaux du futur).

La plateforme nationale LMA augmente la visibilité de l'IP2I par son expertise mondiale dans le dépôt de couches optiques ultraminesces. Elle a développé les miroirs les plus réfléchissants au monde, qui ont contribué à la découverte des ondes gravitationnelles en 2015 et 2017 par les expériences LIGO (US) et VIRGO (EU).

Les activités de recherche sont structurées en quatre pôles thématiques : l'infiniment petit, l'infiniment grand, la théorie et les sciences interdisciplinaires.

L'IP2I est équipé de cinq départements techniques : instrumentation, informatique, mécanique, microélectronique et électronique. Le personnel technique hautement qualifié conçoit et construit des outils innovants et constitue une force technologique reconnue au plan national et international. Le laboratoire bénéficie d'équipements de pointe avec des salles d'expérience équipées dont certaines « blanches » et un atelier mécanique. Il comprend la plateforme nationale de recherche LMA et deux plateformes techniques en radiation et métrologie nucléaire (ANAFIRE et LABRADOR).

<https://www.ip2i.in2p3.fr/>

## **LIS**

Le LIS Laboratoire d'Informatique et Systèmes est une Unité Mixte de Recherche (UMR) sous tutelles du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) rattachée à l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I), de l'Université d'Aix-Marseille (AMU) et de l'Université de Toulon (UTLN). L'Ecole Centrale de Marseille est par ailleurs partenaire du LIS. Ses locaux sont situés sur les campus de Saint-Jérôme et de Luminy à Marseille et sur le campus de l'Université de Toulon. Ce laboratoire regroupe les activités de recherche relevant principalement des sections 06 et 07 du CNRS et des sections 27 et 61 du CNU. Le LIS fédère plus de 375 membres dont 190 permanents chercheurs et enseignants chercheurs et 20 IT/IATSS.

Le LIS mène des recherches fondamentales et appliquées dans les domaines de l'informatique, de l'automatique, du signal et de l'image. Il est composé de 20 équipes de recherche et

structuré en 4 pôles : calcul, sciences des données, analyse et contrôle des systèmes, signal et image.

Les recherches menées au LIS trouvent généralement une finalisation dans des domaines applicatifs aussi divers que le transport, la santé, l'énergie, l'environnement, la défense, etc. Le LIS a ainsi un lien fort avec le monde socio-économique et une activité contractuelle importante. Ces nombreuses activités de valorisation lui permettent de s'impliquer dans plusieurs pôles de compétitivités (pôle Mer, Pôle Solutions Communicantes Sécurisées SCS, Pôle Risques, pôle Eurobiomed et le pôle OPTITEC) et être membre de l'institut Carnot STAR. Une des caractéristiques notables du LIS se situe dans la multidisciplinarité des compétences qu'il regroupe. Cet éventail de compétences complémentaires permet à notre unité d'être impliqué dans plusieurs actions nationales et locales structurantes telles que les instituts de convergence ILCB « Institut Langage, Communication et Cerveau » et Centuri « Centre Turing des Systèmes Vivants », ainsi que dans l'institut « Archimède » de l'Initiative d'Excellence A\*Midex regroupant les activités de recherche en Mathématique, Informatique et interactions sur les sites d'Aix-Marseille et Toulon.

Les chercheurs et enseignants-chercheurs de notre unité s'impliquent dans différentes formations de l'Université d'Aix-Marseille et de l'Université de Toulon (IUT, Licences, Masters, école d'ingénieur Polytech Marseille, école d'ingénieur SeaTech Toulon) ainsi qu'à l'Ecole Centrale de Marseille (ECM) dans les spécialités informatiques, génie électrique et automatique.

<https://www.lis-lab.fr/>

## MIO

Le M.I.O est un laboratoire de recherche en Océanologie des Universités d'Aix-Marseille, de Toulon, du CNRS et de l'IRD. Il est intégré dans l'OSU Pythéas et est partenaire du Labex OT-Med.

Ses objectifs sont de mieux comprendre le système océanique et son évolution en réponse au changement global. Il constitue un pôle de compétences en biologie, écologie, biodiversité, microbiologie, halieutique, physique, chimie, biogéochimie et en sédimentologie marines. Ses cadres d'exercice sont l'océan mondial, ses interfaces avec le continent, l'atmosphère et le sédiment.

Le M.I.O, l'Institut Méditerranéen d'Océanologie, représente :

- Un effectif de 250 personnes dont une centaine de chercheurs (CNRS, IRD) et d'enseignants-chercheurs des Universités, une cinquantaine d'ingénieurs et techniciens, plus de soixante-dix doctorants et post-doctorants, ainsi qu'une équipe d'administratifs au service de la recherche.
- 5 sites : le campus de Marseille-Luminy, l'Université de Toulon, la Base Marine d'IFREMER à la Seyne-sur-Mer et le Centre IRD de Nouméa (Nouvelle-Calédonie).
- 5 équipes disciplinaires.
- 4 axes de recherche thématiques transverses, 2 pôles, 9 plateformes analytiques.

- Un service d'observation du milieu marin au sein de l'OSU-Pythéas, avec le support du navire d'Océanologie côtier L'Antédon II.

Les scientifiques du MIO effectuent leurs recherches dans les domaines de :

- La circulation océanique et atmosphérique
- La compréhension des écosystèmes marins et de la biodiversité de la bactérie aux poissons
- Des fonctionnements biologiques dans les environnements extrêmes et de la pollution des océans.

Ces travaux de recherches nécessitent des campagnes océanographiques, l'utilisation d'instruments immergés équipés de capteurs (bouées, instruments tractés, « gliders » ou drones sous-marins), de radars installés sur la côte et d'analyses d'images satellitaires, ainsi que des moyens analytiques et expérimentaux de laboratoire. Ces recherches font appel à l'analyse numérique et à la modélisation. Ces thématiques de recherches s'inscrivent dans les axes de recherches nationaux comme MERMEX/MISTRALS, HYMEX/MISTRALS, LEFE/CNRS, EC2CO/CNRS et internationaux de l'IGBP au sein des programmes IMBER, SOLAS et LOICZ et nécessitent des interventions sur tous les océans de la planète.

<https://www.mio.osupytheas.fr/>

## LES PARTENAIRES INDUSTRIELS

Les projets ANTARES et KM3NeT bénéficient des compétences en technologies marines de nombreuses entreprises régionales parmi lesquelles : BMTI Alseamar, Exail, FOSELEV, Nortek, Orange Marine, Osean, Comex Marine SAAS ainsi que le soutien du Pôle Mer et de Toulon Var Technologies.

### **BMTI Alseamar**

Alseamar, filiale du groupe ALCEN, opère dans les secteurs de l'industrie navale et maritime. La société répond aux normes nationales et internationales en matière de défense et de sécurité, et travaille avec les secteurs de l'exploration et de la production pétrolières et gazières en mer, ainsi qu'avec les sciences océanographiques qui surveillent l'environnement marin.

BMTI est l'un des principaux fabricants de produits de flottabilité sous-marine en mousse syntactique pure destinés aux secteurs du pétrole et du gaz, de l'océanographie et de la défense. Grâce à des techniques de fabrication innovantes et à une technologie des matériaux de pointe développée en interne, nous veillons à ce que nos produits soient très performants et fiables.

<https://www.bmti-alseamar.com/buoyancy/bmti-alseamar>



## Exail

Exail est né de l'union du groupe ECA et d'iXblue en 2022. Nous sommes aujourd'hui un champion industriel de haute technologie spécialisé dans les technologies de pointe en matière de robotique, de navigation maritime, d'aérospatiale et de photonique. Ensemble, nous employons 1500 personnes dans le monde et réalisons un chiffre d'affaires annuel de 250 millions d'euros. Grâce à notre offre unique allant des composants aux systèmes complexes, nous soutenons nos clients dans leurs missions critiques dans des environnements sévères.

<https://www.exail.com/>

## FOSELEV Marine

Par le biais de sa division navale/maritime, FOSELEV a développé une offre de services spécifique totalement orientée vers la réparation navale et le Maintien en Condition Opérationnelle (MCO) des structures, équipements conventionnels et nucléaires de bâtiments militaires, navires de commerce et de recherche ou encore yachts de grande plaisance.

Situées près de la Base Navale de Toulon, nos filiales CIMAT SARTEC et FOSELEV MARINE rassemblent leurs compétences dans le cas de contrats de maintenance globale, préventive et corrective, tout comme lors d'arrêts techniques de navires au moyen du dock flottant grandes capacités MACJIP de FOSELEV.

L'offre s'organise autour de prestations intégrant la maintenance d'installation, la fabrication d'équipements mécano-soudés, la réparation navale ou encore les interventions maritimes pour la pose d'équipements sous-marins, les opérations de remorquage et de recherche en haute mer.

Nos prestations incluent la prise en charge d'opérations globales en entreprise générale pour le refit de navire et la réalisation d'arrêts techniques impliquant des travaux de mécanique générale et de carénage complet, l'installation d'équipements hydrauliques, la préfabrication et le montage de tuyauterie, de structures métalliques, d'armatures et de tôlerie.

Une cellule méthode spécialisée dans l'ingénierie MCO et la réparation navale est mobilisée dès la phase de préparation afin d'assurer le support, le pilotage et le suivi des opérations.

Plus de 4000 m<sup>2</sup> d'ateliers dédiés, une salle blanche, un espace exclusif de quai de 300 mètres équipés de moyens de manutention importants ainsi qu'un banc d'essai des composants hydrauliques jusqu'à 400 bars permettant à cette division de prendre en charge l'ensemble des besoins même les plus complexes.

Nous disposons de moyens dernière génération permettant de concrétiser l'ensemble de vos projets : un dock flottant pouvant accueillir des bateaux jusqu'à 950 T et 60 mètres de long ainsi qu'un navire à positionnement dynamique de 50 mètres avec portique de 25 T et un treuil grand fond allant jusqu'à 3000 mètres pour vos opérations en mer.

FOSELEV MARINE réalise tout type d'opérations maritimes, telles que la pose, la recherche et la vérification d'éléments immergés (câbles, sondes, antennes, hydrophanes et bouées), la mise en essai de submersibles en grande profondeur, ainsi que le transfert de personnel et de matériel, grâce à ses 5 navires :

- Le CASTOR02, un navire à positionnement dynamique de 50m équipé d'un portique de 25T et d'un treuil grand fond de 3000m,
- Le FOSELEV AGATE un catamaran de 19m,
- Le FOSELEV TOPAZE un catamaran de 19m,
- Le FOSELEV ONYX, un catamaran de 18m équipé d'une grue de 1T,
- Le FOSELEV OPALE, un catamaran de 14m.

Nous accordons la plus haute importance à la satisfaction de nos clients. Toutes nos prestations sont réalisées dans le respect des normes et exigences en vigueur pour une qualité de services reconnue par nos clients et confirmée par les certifications et agréments les plus exigeants : ISO 9001, CEFRI, Amiante, Confidentiel défense.

<https://www.FOSELEV.com/>

<https://www.FOSELEV.com/agence/maintenance-FOSELEV-marine/>

## **Nortek**

Nortek Méditerranée est la filiale française de Nortek AS basée en Norvège qui développe des instruments océanographiques dans le but de mesurer les courants et les vagues. A Toulon, nous avons deux activités : d'une part la vente de ces capteurs et d'autre part la prestation de services pour tout ce qui a trait à la mesure physique en milieu marin (mesures de courants, houle, acoustique ...) :

- Côté vente, nous proposons une large gamme d'instruments : vélocimètres, courantomètres ponctuels ou profileurs, ADCP montés sur coque et également des DVL pour la navigation sous-marine. Plusieurs de nos Aquadopp grand fond ont été installés sur une ligne de mouillage pendant 2 ans pour le projet ANTARES.

- Côté prestation, nous développons nos propres structures (bouées, tripode) pour y intégrer des capteurs Nortek ou autres (CTD, station météo, hydrophone...) et nous proposons des solutions clés en main pour nos clients (installation, maintenance, suivi des données en temps réel, rédaction de rapport...)

## Orange Marine

### Activités de reconnaissance de tracé (survey), de pose, de maintenance et de réparation de câbles sous-marins

Orange Marine, filiale à 100% du Groupe [Orange](#), est un armateur de navires câbliers spécialisé dans le domaine des travaux en mer sur câbles sous-marins, depuis la phase de conception et d'ingénierie de nouveaux projets, jusqu'à l'installation de nouvelles liaisons et la maintenance de câbles existants (télécommunications, énergies ou mixtes).

Orange Marine peut intervenir partout dans le monde et pour tout type de clients : opérateurs télécoms, fabricants de câbles, GAFAM, opérateurs de champs d'éoliennes offshore...

Son savoir-faire est reconnu dans le monde entier. Il lui permet d'occuper une place majeure au niveau mondial, à l'heure où les câbles sous-marins, de plus en plus performants, ont une importance stratégique pour l'économie mondiale et sont en cours de déploiement dans toutes les mers et océans.

Avec sa société sœur italienne [Elettra Tlc](#), Orange Marine dispose d'une flotte de 6 navires câbliers et d'un navire de reconnaissance de tracé (survey), ce qui représente près de 15% du marché de l'installation et de la maintenance de câbles sous-marins.

A fin 2022, les navires d'Orange Marine avaient installé plus de 257000 kilomètres de câbles sous-marins à fibres optiques et réalisé plus de 800 réparations dont certaines par plus de 6000 mètres de profondeur.

En outre, Orange Marine conçoit, construit et exploite une gamme complète d'engins sous-marins destinés aux travaux sur câbles sous-marins (ROV – Remotely Operated Vehicles, charrues, trenchers, crawlers,) pouvant travailler sur tout type de câble.

Orange Marine intégrera en 2023 un nouveau navire câblier, le Sophie Germain, à sa flotte.

Plus d'informations sur [marine.orange.com](http://marine.orange.com)

## OSEAN

La Société Experte en systèmes électroniques sous-marins (OSEAN SAS) basée au Pradet dans le Var (83) est spécialisée dans l'étude et la réalisation de systèmes innovants capables d'évoluer en milieux hostiles et plus spécifiquement sous-marins.

Les systèmes développés sont destinés majoritairement aux marchés scientifiques et de la défense.

OSEAN assure toutes les étapes du projet : de l'étude de conception, au développement, l'industrialisation et la production jusqu'à l'installation et le maintien en conditions opérationnelles.

OSEAN maîtrise l'ensemble des technologies mises en œuvre : électronique, logiciel, mécanique haute pression, capteurs et traitement des données.

OSEAN a collaboré avec le CPPM dans le cadre du projet ANTARES, pour le développement du système de positionnement acoustique des lignes du détecteur ANTARES

<http://www.osean.fr/fr/societe-osean.php>

## **Comex Marine SAAS**

Votre prestataire global de services maritimes :

Sous forme de guichet unique, SerEnMar offre un bouquet de services intellectuels, techniques et opérationnels aux acteurs institutionnels et privés des secteurs maritimes et de l'énergie : bureaux d'études de l'environnement marin, océanographes, laboratoires, énergéticiens et leurs sous-traitants, gouvernements et services de l'Etat, industriels (océanographie opérationnelle, acoustique sous-marine, Défense, énergies marines), armateurs, chantiers navals, opérateurs portuaires, centres de recherche, établissements de formation, universités, Organisations Non Gouvernementales, Entreprises de Services de Sécurité et de Défense, organisateurs d'événements maritimes...

Producteur de services :

En soutien à vos activités, SerEnMar recherche, identifie et coordonne des moyens spécialement sélectionnés et opérés, au travers d'un contrat de prestation. Au-delà de l'affrètement de navires, nous vous proposons ainsi une relation organisée en services intégrés, conçus sur mesure pour solutionner vos problématiques, sécuriser vos opérations, gagner en efficacité et vous faciliter l'accès aux espaces maritimes et sous-marins. Cette combinaison innovante porte un nom : SHIP AS A SERVICE®

Levier d'optimisation de vos opérations :

La mer est un environnement exigeant et changeant : vous qui la côtoyez connaissez cette complexité.

Pour répondre à vos attentes et vos nouvelles exigences de service, SerEnMar couple des prestations de gestion de projet et d'assistance technique à l'exploitation, la coordination et la conduite de navires et de moyens maritimes, et délivre ainsi des services clé-en-main, à des conditions techniques et économiques optimisées.

<https://www.shipasaservice.fr/>

## LES SOUTIENS AUX PROJETS SCIENTIFIQUES

Tous les projets scientifiques mentionnés ci-dessus bénéficient de dispositifs installés de manière permanente au fond de la mer grâce au Laboratoire Sous-marin Provence Méditerranée (LSPM), donnant ainsi un accès unique aux abysses.

Le LSPM est financé, au travers du projet NEUMED dans le cadre du Contrat de Plan État Région (CPER), par la Délégation régionale académique à la recherche et à l'Innovation (DRARI) Provence-Alpes-Côte d'Azur, la Région Sud, le CNRS au travers de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3), le conseil départemental des Bouches-du-Rhône, la métropole d'Aix-Marseille Provence, la ville de Marseille.

Il a pu aussi se concrétiser avec les projets précédents MEUST et NUMerEnv grâce aux contributions financières de l'Union européenne (FEDER), de la France (Ministère (DRARI), CNRS, Aix-Marseille Université, région Sud, conseil départemental du Var, métropole Toulon Provence Méditerranée, ville de Marseille). Le LSPM est soutenu par la ville de La Seyne-sur-Mer en tant que ville hôte de la salle de contrôle et de la station de puissance. Il bénéficie également du soutien du pôle Méditerranée, de l'université de Toulon et des nombreuses compétences du tissu industriel de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur dans le domaine marin.