



TERRE &
UNIVERS



2020 – 2024

RAPPORT
D'ACTIVITE

DIVISION
TECHNIQUE
DE L'INSU

Table des matières

1. PRESENTATION GENERALE	5
1.1. La mission de la DT et sa place dans l'INSU	5
1.2. Déménagement de Meudon	6
1.3. Organisation générale	7
2. LES PROJETS	8
2.1. 3DCAM	8
2.2. Acougaz	9
2.3. Aqua-Oxy	11
2.4. AWACA	12
2.5. Bathyprof	13
2.6. CAER	15
2.7. Carioca MedSea	17
2.8. Carioca SO-CHIC	18
2.9. CASPA-PICO	19
2.10. CEMSOR 2	22
2.11. Cloud-Collec	24
2.12. CLOUDEX	25
2.13. CODA	26
2.14. Collecteur de nuage	28
2.15. Cyber Carothèque Nationale	29
2.16. Cyclopée	30
2.17. DEEPNET	32
2.18. DeepSea'Nnovation	33
2.19. EMSO	37
2.20. End Point	39
2.21. FOAM	42
2.22. GMI	44
2.23. Gravidrone	46
2.24. HPSU	47
2.25. HRBCP	49
2.26. Hydroctopus	51
2.27. HYMENET	52
2.28. IGSN	53
2.29. IODA6000	54
2.30. IONTRAP	55
2.31. JUICE-SWI	56
2.32. MAE	57
2.33. Marel	58
2.34. MARIN-A	59
2.35. MARMOR	60
2.36. Mât FLUX	61
2.37. MICADO	62
2.38. MICMAG	64
2.39. MOSAIC	65
2.40. NAVSTA	66
2.41. NIVMER	67
2.42. PAMELI	69

2.43. Pico-SDLA	71
2.44. Pirata	77
2.45. Polar Pod	78
2.46. PTR-ToF-MS	80
2.47. ROMARIN	82
2.48. Station benthique	84
2.49. STRATEOLE 2	85
2.50. Terra Forma	87
3. LES PARCS	90
3.1. La flotte du CNRS	90
3.2. Le parc national d'instrumentation océanographique	94
3.3. Le parc national de planeurs sous-marins	102
3.4. Le laboratoire national d'étalonnage pCO2	104
3.5. EPOS France	105
3.6. Le Centre de Carottage et de Forage National	107

1. Présentation générale

1.1. La mission de la DT et sa place dans l'INSU

La Division Technique de l'Institut National des Sciences de l'Univers est une Unité d'Appui et de Recherche (UAR 855), rattachée à l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU).

Renouvelée au 1er janvier 2025, 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 mais aussi dans le cadre de TGIR ou d'IR : 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 pCO₂, et anciennement plate-forme de carottage continental et 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 le terrain.
- La gestion de la flotte océanographique du CNRS a toujours été assurée par l'armement de la DT. Depuis le 1er 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. La DT a par contre conservé la gestion des 7 navires de station.

Depuis 2008, la DT gérait le parc national glider. Fin 2021, sur décision de l'INSU, tous les gliders opérés

par la DT ont été transférés à des laboratoires de recherche en océanographie (IMEV, MOI, LOCEAN) qui en assurent désormais la gestion.

Depuis 2009, la DT gérait un centre de carottage continental. Fin 2024, sur décision de l'INSU, tout le matériel de ce parc a été transféré à l'Observatoire de Sciences de l'Univers de Grenoble (OSUG) qui en assure désormais la gestion.

Chaque année entre mi-juillet et mi-septembre, soit en phase avec les appels d'offre INSU, les laboratoires ont la possibilité de déposer des demandes de soutien à la DT pour l'année suivante. Les ingénieurs DT effectuent une pré-étude et une analyse technique (faisabilité, ressources RH et financières), puis les demandes et les évaluations DT sont expédiées aux Commissions Spécialisées ad hoc afin d'obtenir leur avis scientifique. Le Comité de suivi de la DT, composé du Directeur de l'INSU, des Directeurs Scientifiques Adjoints et des présidents des Commissions Spécialisées, ainsi que de la Direction de la DT, se réunit en début d'année et effectue, en fonction des priorités de l'INSU, les arbitrages entre les différentes demandes suite aux avis des commissions et à l'analyse du plan de charge proposé par la DT.

Entre 2020 et 2024, tous les chiffres (en moyenne sur le mandat) concernant les demandes de soutien sont en augmentation par rapport au précédent mandat :

- De 45 à 62 demandes déposées.
- De 13 à 26 nouvelles demandes.
- De 4 à 11 demandes refusées.
- De 39 à 54 demandeurs.
- De 26 à 34 labos demandeurs.

Durant cette période, la DT a traité 205 demandes de soutien (+25% par rapport au mandat précédent) émanant de 137 chercheurs ou ITA issus de 61 laboratoires.

Parmi ces demandes, la DT est impliquée sur 5 Equipex :

- ANVOLE, coordonné par le CNRS, accompagné de Météo-France et du CNES, consiste dans l'acquisition d'un avion de type jet qui réponde aux besoins les plus actuels des recherches françaises et internationales. Le nouvel avion pourra ainsi voler très haut, avec une grande autonomie de vol et une capacité importante d'emport d'équipements. Le besoin de support technique à la DT pour ce projet porte sur l'appui et l'assistance pour la conception et l'installation de l'instrumentation sur le

nouvel avion qui sera mis en service à la fin du projet, que cela soit pour l'instrumentation en gestion SAFIRE ou de l'instrumentation embarquée développée par les laboratoires utilisateurs du nouvel avion.

- DeepSea'nnovation, coordonné par Ifremer vise à développer et à intégrer sur les engins sous-marins de la Flotte Océanographique Française, un ensemble d'équipements instrumentaux identifié par les communautés scientifiques des domaines thématiques des grands fonds. Parmi ces 3 ensembles de capteurs, 3 lots nécessitent l'expertise de la DT : une caméra haute sensibilité bioluminescence, un profileur benthique, et eDNA (préleveur d'ADN environnemental).
- Marmor, coordonné par Ifremer, fournira les équipements nécessaires à l'Infrastructure de Recherche Epos-France et mettra en place une infrastructure d'observation sous-marine à Mayotte pour assurer les impératifs de surveillance sismologique continue. L'aide demandée à la DT-INSU porte sur des capteurs de pression et un drone marin modulaire amiral dont la mission principale sera d'effectuer des mesures de GNSS/acoustique de bonne qualité.
- Terre Forma, porté par le CNRS, vise à concevoir et déployer, sur des territoires témoins, un réseau dense de capteurs environnementaux open source et à bas coût pour mieux comprendre les changements environnementaux en cours et s'y adapter. La DT intervient sur l'axe transverse industrialisation, l'animation du groupe de travail « standardisation » et participation au WP3 sur le développement d'une infrastructure de communication frugale.
- F-CELT, coordonné par le CNRS, est la contribution française aux instruments de l'ELT (Extremely Large Telescope) de l'ESO (Observatoire Austral Européen). La DT intervient sur 3 aspects, en conception mécanique, en ingénierie système et en contrôle commande.

La DT est impliquée sur le projet prioritaire de l'INSU GON LIDARS pour la jouvence et l'automatisation des lidars de l'OHP (Observatoire de Haute-Provence) et de l'OPAR (Observatoire de Physique de l'Atmosphère à La Réunion). Le rôle de la DT est de déployer un système d'automatisation du fonctionnement opérationnel des sites et de commande à distance des lidars opérés à l'OHP et à l'OPAR et mettre à jour les instruments lidar qui, pour

la majeure partie, sont vétustes avec des pannes répétées.

Depuis 2021, la DT a aussi été impliquée sur 14 projets soutenus par la CS IIT (Instrumentation Innovante et Transverse).

1.2. Déménagement de Meudon

Le 15 octobre 2021, le directeur général délégué aux ressources Christophe Coudroy nous annonçait que la DT-INSU devait quitter le site de Meudon, mais finalement quelques mois plus tard ce déménagement fut reporté.

Le 27 janvier 2023, jour du comité de suivi de la DT, Christophe Coudroy convoquait une assemblée générale et annonçait à la DT qu'elle devait quitter le site de Meudon dans un délai de deux mois. Suite à cette annonce, tout le plan de charge du site francilien a dû être revu afin de prendre en compte ce déménagement.

Une solution d'accueil temporaire de la DT dans les bâtiments 32 et 33 du site CNRS de Gif-sur-Yvette nous fut proposée, ceci avant d'intégrer définitivement le bâtiment 17 qui nécessitait d'importants travaux.

Tous les agents du site de Meudon ont été fortement sollicités pour réaliser un déménagement express en 5 semaines entre Meudon et Gif-sur-Yvette. Il a fallu préparer la définition et l'implantation de la zone d'accueil temporaire (bât. 32/33) pour que tous les services disposent des outils nécessaires pour continuer une activité réduite et assurer la continuité des projets pendant la période de transition.

La DT a ensuite dû définir ses besoins dans le bâtiment 17 et fournir tous ces éléments à l'IFSEM et au cabinet d'architecte. De nombreuses réunions ont été nécessaires afin d'aboutir à la réalisation des travaux, qui a cependant pris plusieurs mois de retard.

Dès septembre 2023, les équipes se sont préparées à un second déménagement dans le bâtiment 17, et en octobre 2023 l'atelier mécanique a pu commencer à y être réinstallé. Le déménagement des bureaux et des laboratoires a été réalisé début 2024, suivi d'une longue phase de réinstallation.

A l'heure actuelle, le bâtiment 17 ne répond toujours pas entièrement aux besoins de la DT qui œuvre pour obtenir des aménagements complémentaires.

1.3. Organisation générale

L'unité est implantée sur 3 sites :

- La Seyne sur Mer, sur le centre Ifremer : une vingtaine d'agents dont les deux marins de l'armement, dépendant de la DR20.
- Gif-sur-Yvette, sur le site de la DR4 : une vingtaine d'agents, dépendant de la DR4.
- Plouzané, dans les locaux de l'IPEV : treize agents, dépendant de la DR17.



Figure 1 : Localisation des sites de la DT-INSU

L'organisation de l'Unité est articulée autour des trois sites et de leurs services respectifs. Chaque site est dirigé par un directeur adjoint qui est responsable du site auquel il est affecté. Un service administratif transverse ainsi qu'une infrastructure informatique gérée par le service informatique de l'OSU Pythéas apportent leur soutien aux 3 sites.

La DT regroupe actuellement 47 ITA, 23 CDI marins, 2 CDD, 2 apprentis, et plusieurs stagiaires.

Les marins sont répartis dans les observatoires d'Arcachon, Banyuls et Boulogne, les OSU de Brest, Marseille et Villefranche-sur-Mer, et la station marine de Roscoff.

Sur les cinq années considérées, l'effectif permanent ITA de l'unité a diminué puisqu'il est passé de 51 à 47 ITA.

La DT accueille en moyenne 3 apprentis et plusieurs stagiaires (5 en 2025) ainsi qu'un ou deux CDD projets, tous employés par le CNRS.

2. Les projets

2.1. 3DCAM

Laboratoire demandeur : LPP.

Chercheur responsable : Matthieu Berthomier.

2.1.1. Objectifs scientifiques

L'objet de cette étude est un instrument de type spectromètre plasma à champ de vue instantané 3D, identifié comme une rupture technologique majeure dans le domaine de la physique des particules chargées. 3DCAM se caractérise par une optique électrostatique qui guide les particules chargées vers un détecteur imageur. Cette optique est conçue en utilisant les possibilités topologiques nouvelles offertes par l'impression 3D de type stéréolithographique qui permet de fabriquer des électrodes de forme complexe.

2.1.2. Description technique

Les dimensions hors tout de 3DCAM sont environ 270×270×145 mm, sur la base d'un des premiers designs de l'instrument, en avance de phase d'une éventuelle future mission spatiale.

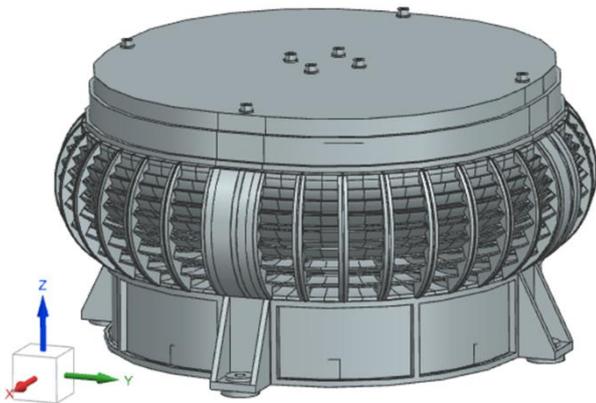


Figure 2 : Assemblage de 3DCAM (modèle CAO du LPP, version de novembre 2020)

L'instrument est constitué de plusieurs matériaux, dont une résine composite destinée au procédé de fabrication additive de l'optique, un aluminium pour le châssis, un plastique amorphe pour la fabrication des isolants.

2.1.3. Activités de la DT

La demande de soutien du LPP porte sur des simulations par éléments finis pour évaluer le comportement en mécanique statique linéaire sous une accélération représentative d'une mission spatiale, les premiers modes de vibration, et le comportement thermo-élastique pour un cas chaud et un cas froid.

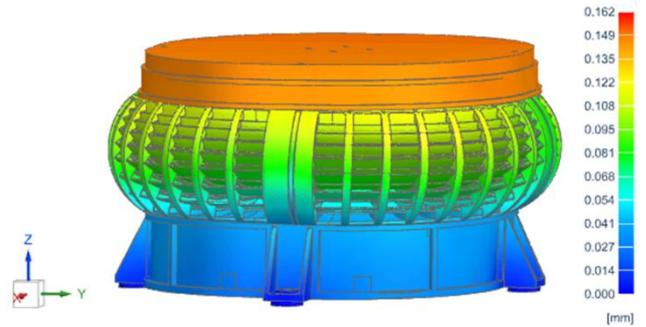


Figure 3 : Déplacements dans le cas de l'accélération statique sur la direction +Y avec une amplitude de 80 g

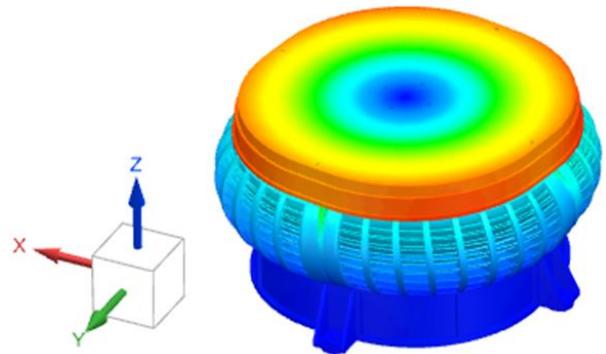


Figure 4 : Déformée du premier mode propre (fréquence supérieure à 300 Hz), caractérisée par la rotation de l'ensemble de l'instrument autour de son axe vertical

De ces simulations, on peut retenir que :

- En analyse de design statique, les niveaux de contrainte atteints sous une accélération de 80 g sont plutôt bien maîtrisés et la tenue structurale est conservée dans les trois directions.
- L'analyse modale montre que cet instrument préliminaire, malgré sa masse non négligeable de plus de 4 kg, est plutôt raide. Cela s'explique par sa forme compacte et ramassée, et des pieds bien disposés.
- L'analyse thermo-élastique, qui prend en compte la grande variabilité du coefficient de dilatation thermique de la résine, alerte sur le différentiel dans le cas d'un environnement chaud, générateur de contraintes élevées.

Personnel DT impliqué :

Christophe Berthod, simulations mécaniques.

Contact :

christophe.berthod@cns.fr

2.2. Acougaz

Laboratoire demandeur : ISTerre.

Chercheur responsable : Jean Vandemeulebrouck.

2.2.1. Objectifs scientifiques

Le projet vise à concevoir et réaliser un système de mesures acoustiques autonome (Bubblephone) permettant de suivre de manière passive l'activité de bullage dans des zones de dégazage sous-marin ou lacustre. L'activité hydroacoustique n'est généralement mesurée par les hydrophones des sismomètres fond de mer (OBS, Ocean Bottom Seismometer) qu'à basse fréquence (1-100 Hz) et dans une bande perturbée par la turbulence, alors que le bullage émet une activité acoustique énergétique à des fréquences plus élevées (~ 1 kHz) qui dépendent de la taille des bulles. La station aura pour fonctions de filtrer les signaux de l'hydrophone pour acquérir les signaux haute-fréquence émis par les bulles, de calculer et stocker leurs spectres en fréquence et aussi des séquences de données brutes. Le post traitement permettra d'évaluer les variations du volume des bulles au cours du temps. Cette station sera conditionnée dans une ligne de mouillage pour être placée à proximité des zones de dégazage, et dans un caisson hyperbare pour pouvoir aller à des profondeurs kilométriques. Un tel système pourrait être déployé pendant plusieurs mois à proximité de volcans actifs, comme à Mayotte, ou dans la zone marine de dégazage volcanique des Champs Phlégréens (Italie), sur des systèmes hydrothermaux sous-marins (Açores), sur des zones de faille ou sur des zones de dégazage de méthane et de CO₂.

2.2.2. Description technique

Le développement de l'électronique embarquée sera réalisé à partir des modules conçus pour les OBS par l'IPGP Géosciences Marines, et en y adjoignant des cartes et des codes spécifiques. Les deux équipes d'ISTerre et de l'IPGP possèdent un savoir-faire reconnu dans les mesures acoustiques, la conception et la réalisation de modules sous-marins autonomes et le développement de logiciel embarqué. L'électronique du système se compose de 2 cartes : une principale avec un microcontrôleur STM32, permettant le cadencement du système, l'interface Homme-Machine, la datation et le stockage des données ; et une deuxième carte permettant l'acquisition de l'hydrophone et la numérisation des données.

Côté mécanique, un développement est proposé, basé autour de ce qu'utilise l'IPGP avec ses OBS, afin d'intégrer dans une enceinte hyperbare

l'électronique et les batteries nécessaires au bon fonctionnement autonome pendant 6 mois. L'intégration d'un lest pour assurer une bonne descente et la stabilité du système en fond de mer ainsi qu'un système pour libérer le lest et assurer la remontée du système en fin de campagne est prévu au design.

2.2.3. Activités de la DT

La DT, via un ingénieur en instrumentation, a développé l'électronique : 2 cartes qui s'assemblent via un connecteur commun fond de panier. Design fait en CAO avec Altium.



Figure 5 : Cartes électronique μ C et ADC du système, à plat avant assemblage

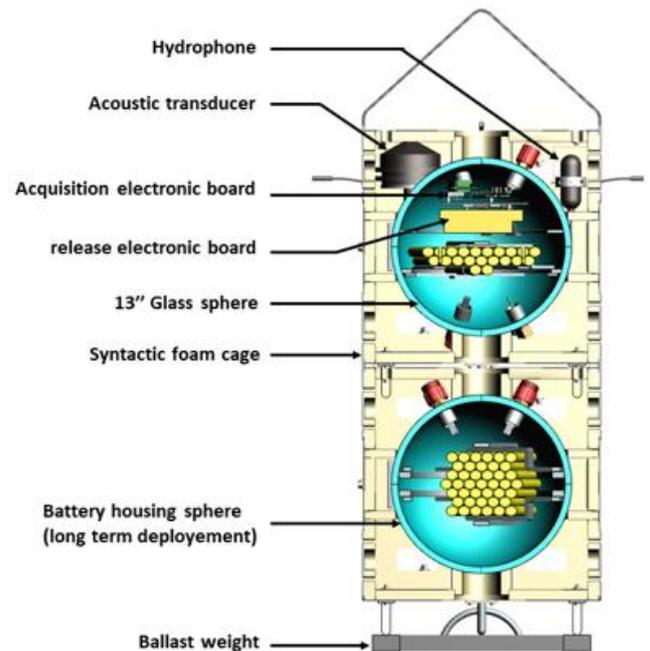


Figure 6 : Design mécanique de la structure Acougaz (en coupe)

Côté mécanique, un ingénieur de la DT a conçu le design permettant l'intégration de 2 sphères hyperbare, une pour l'électronique et une deuxième pour un gros pack de batterie (placé au plus bas). Ces 2 sphères sont prises dans une structure en mousse taillée sur mesure, permettant d'assurer un maintien de l'ensemble du système et aussi d'assurer la flottabilité nécessaire à l'ensemble pour sa remontée

en surface une fois le lest largué. Tout cet ensemble est sanglé par l'extérieur en retenant le lest, et équipé d'un système de largage permettant la séparation du système et du lest en fin de manip.

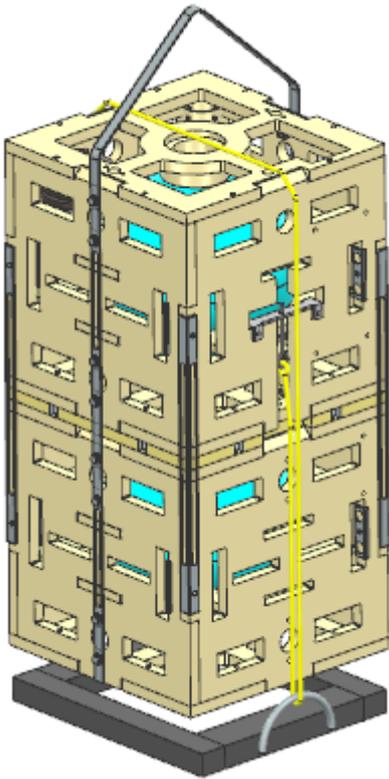


Figure 7 : Structure Acougaz assemblée

Par ailleurs, une étude dynamique du système a été réalisée. En effet, il est nécessaire d'analyser les modes propres de vibration de la structure pour garantir l'absence de perturbation sur l'hydrophone lui-même, sachant que sa gamme de mesure est assez large. Les simulations numériques ont été réalisées à l'aide de modélisations par éléments finis avec le logiciel Simcenter 3D.

Dans un premier temps, on a résolu le système dynamique tel qu'il est après la modélisation, c-à-d sans tenir compte de la présence de l'eau autour d'Acougaz. Dans un second temps, on a ajouté les définitions nécessaires à la prise en compte de l'eau, par l'intermédiaire d'un volume fluide virtuel, ce qui a logiquement entraîné une diminution des fréquences propres pour les modes appariés. Au final, il en résulte des premiers modes propres de vibration dans la bande fréquentielle [0, 100] Hz dans l'air et a fortiori dans l'eau, donc en dessous de la gamme de mesure de l'hydrophone.

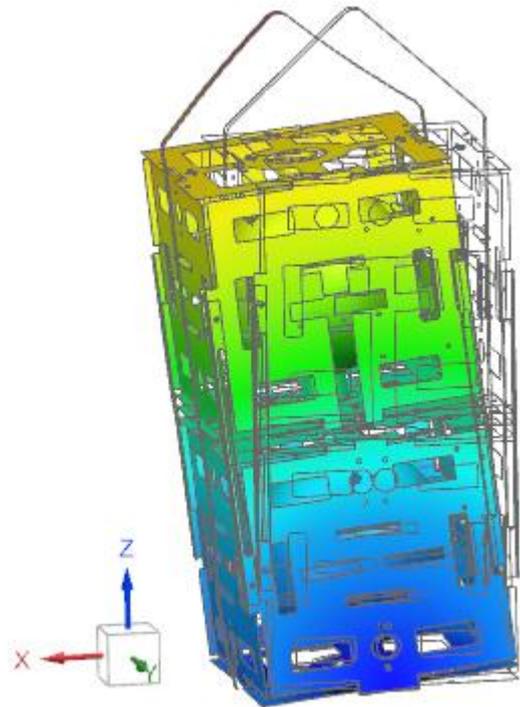


Figure 8 : Un mode de vibration global en flexion

Personnel DT impliqué :

Hervé Barrois, développement électronique.

Aurélien Cléménçon, conception mécanique.

Christophe Berthod, modélisation, calculs de structure.

Contact :

herve.barrois@cnr.fr

2.3. Aqua-Oxy

Laboratoire demandeur : LSCE.

Chercheur responsable : Amaëlle Landais.

2.3.1. Objectifs scientifiques

La composition isotopique du dioxygène atmosphérique est un outil important dans l'étude du paléoclimat à partir des carottes de glace car il permet d'avoir des informations sur l'intensité passée du cycle hydrologique des basses latitudes (e.g. système de moussons) et de la productivité globale de la biosphère sur la même échelle de temps que les variations climatiques enregistrées dans les glaces.

Afin d'interpréter de façon quantitative les traceurs isotopiques et d'améliorer la datation des carottes de glace, il est nécessaire de connaître les fractionnements isotopiques associés aux différents processus biologiques.

2.3.2. Description technique

L'objet de la demande technique à la DT consiste essentiellement à développer des chambres biologiques contrôlées et en circuit fermé pour le milieu aquatique. Ces chambres biologiques reposent sur un prototype développé par le CEREEP-Écotron Ile-de-France, consistant en un système de multiples colonnes d'eau (11 cm de diamètre, 1 m de long) munies d'un système d'homogénéisation assuré par un moteur central et régulées en température et en luminosité par l'extérieur. Ce prototype peut être positionné directement dans un Écolab, infrastructure permettant de simuler une très grande variété de climat.

2.3.3. Activités de la DT

Dans un premier temps, nous avons présenté plusieurs solutions techniques avec une maquette numérique et validé la faisabilité de l'usinage de la cloche (mars 2022).



Figure 9 : Vue CAO de la cloche de la chambre

Nous avons testé différentes colles de différents types afin de déterminer la plus adaptée aux contraintes mécaniques sans perturbation biologique. Puis nous avons réalisé un prototype en impression 3D pour les parties internes et usinées pour la cloche (avril 2022).

Le design mécanique a aussi été pensé pour perturber le moins possible l'apport lumineux nécessaire au milieu de culture dans la chambre. De plus, des simulations numériques des flux à l'intérieur de la chambre ont été réalisées.



Figure 10 : Visualisation des lignes de flux calculés



Figure 11 : Prototype de validation en juin 2022

Après validation, 6 modèles sont fabriqués afin d'effectuer les mesures en multiplexage sur le site de l'Écotron de Nemours.



Figure 12 : Expérimentation sur le site de l'Écotron

Personnel DT impliqué :

Nicolas Geyskens, pilotage du projet.

Benoît Lemaire, conception, fabrication et intégration mécanique.

Christophe Berthod, simulations fluidiques.

Contact :

nicolas.geyskens@cnsr.fr

2.4. AWACA

Laboratoire demandeur : LSCE.

Chercheur responsable : Thomas Lauwers.

2.4.1. Objectifs scientifiques

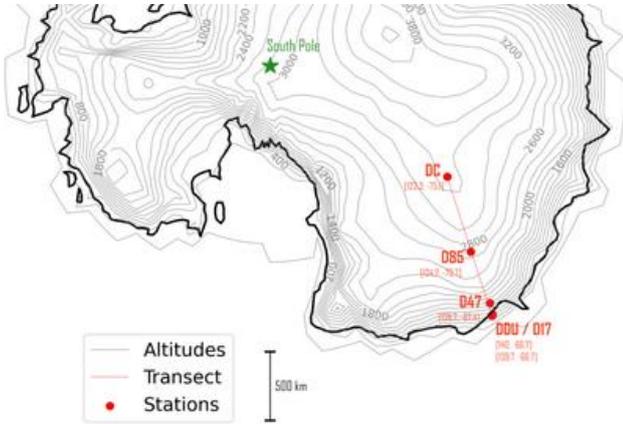


Figure 13 : Carte du transect et position des plateformes d'observation

Le projet AWACA (Atmospheric Water Cycle over Antarctica), soutenu par le Conseil européen de la recherche, vise à mieux comprendre le cycle de l'eau atmosphérique en Antarctique en associant modélisations et mesures. Des instruments spécifiquement adaptés à cet environnement sont développés pour être combinés au sein de plateformes d'observation déployées de début décembre 2024 à janvier 2025 sur plusieurs sites entre la station Dumont d'Urville et le Dôme C.

2.4.2. Description technique

Dans cette étude, on s'intéresse plus spécifiquement à l'instrumentation SARA proposé par le LSCE. Il s'agit d'un analyseur de gaz constitué de deux boîtiers. L'analyseur est régulé en température à 40°C par un module Peltier muni d'une ventilation, tandis que la cuve de mesure est chauffée à 45°C.

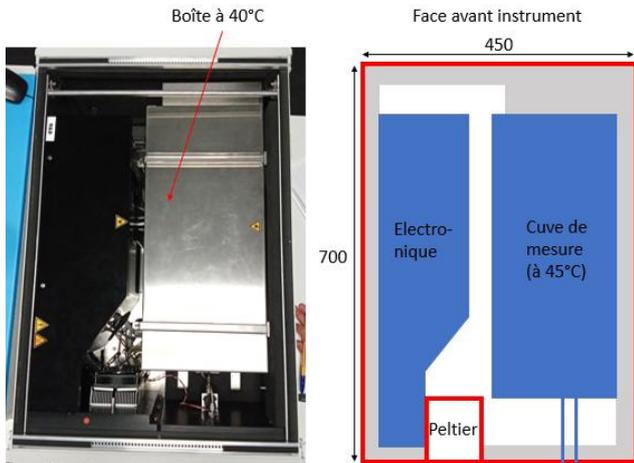


Figure 14 : Photo et schéma de l'intérieur de l'analyseur

La température intérieure de la plateforme d'observation peut potentiellement varier entre 5° et 20°C. L'objectif est de faire fonctionner l'analyseur dans un milieu stabilisé à $\pm 1^\circ\text{C}$ avec un système actif, en l'installant dans une enceinte isolante.

2.4.3. Activités de la DT

On décide de comparer la réponse thermique transitoire de différents modèles à une variation de l'environnement ambiant, dans les cas suivants : analyseur en fonctionnement à 0 m d'altitude, sans isolation puis dans une enceinte isolante successivement en aluminium, en polystyrène expansé, et en bois contreplaqué, ensuite avec un système de ventilation actif, enfin à 3200 m d'altitude. Ceci dans le but de démontrer qu'une solution peut exister pour répondre à l'objectif.

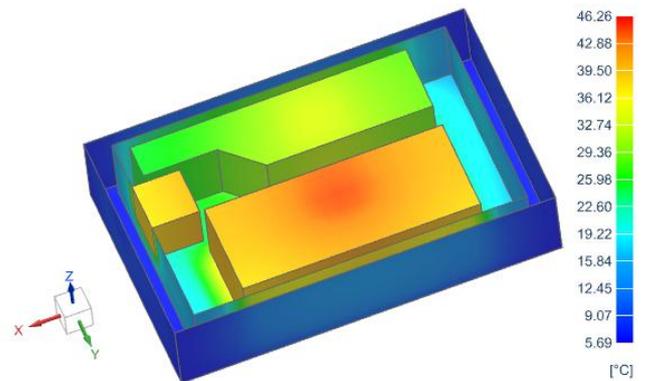


Figure 15 : Exemple de champ de température dans l'analyseur et une enceinte isolante en bois, vue en coupe

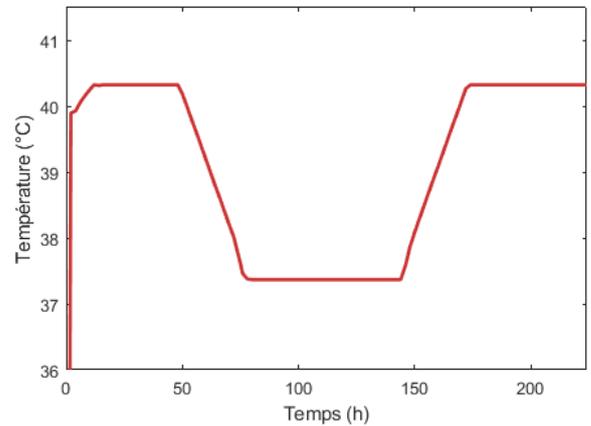


Figure 16 : Evolution de la température d'une sonde près de la cuve de mesure, écart de 3,0°C entre les 2 environnements extrêmes

Personnel DT impliqué :

Christophe Berthod, simulations thermiques.

Contact :

christophe.berthod@cnr.fr

2.5. Bathyprof

Laboratoire demandeur : LSCE.

Chercheur responsable : Christophe Rabouille / Bruno Bombled.

2.5.1. Objectifs scientifiques

L'exploration et l'exploitation de l'océan profond pour des ressources telles que le pétrole, le gaz, la pêche, et bientôt les minéraux, suscitent des préoccupations écologiques majeures. Afin de mieux comprendre l'impact de ces activités, il est crucial d'étudier la matière organique et les organismes vivants dans cet environnement, notamment leur rôle dans le cycle du carbone. Cela permettrait d'améliorer notre compréhension des dynamiques des écosystèmes profonds et d'évaluer leur réponse aux perturbations humaines.

Afin de répondre à ces enjeux, la communauté scientifique a développé des observatoires océanographiques, comme la station benthique du LSCE ou le robot BathyBot, un outil de surveillance à 2500 m de profondeur déployé en 2022 près de Toulon. Ce robot, équipé de capteurs et caméras, permet de collecter des données en temps réel et de surveiller l'environnement marin profond à long terme. Il mesure des paramètres tels que la température, l'oxygène, le CO₂, la salinité, et capture des images de la faune. Un profileur benthique (Bathyprof), qui mesure l'oxygène à l'interface eau-sédiment, sera également utilisé pour étudier le métabolisme des écosystèmes benthiques et leur utilisation du carbone.

2.5.2. Description technique

Le Bathyprof est un profileur benthique développé dans le cadre du projet EMSO pour équiper le robot BathyBot, destiné à l'observation des environnements profonds en Méditerranée.

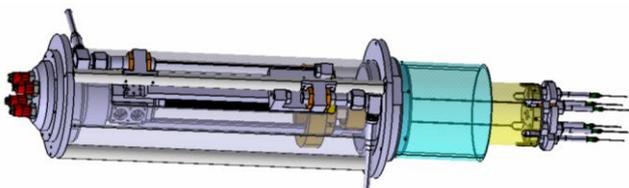


Figure 17 : Système de mouvement de translation verticale

La Division Technique a piloté le développement complet de l'instrument Bathyprof, incluant la conception de l'électronique de contrôle, du logiciel embarqué, de l'interface homme-machine (IHM), ainsi que du système mécanique de translation qui permet l'intégration fluide du profileur dans le robot sous-marin.

L'électronique de contrôle est constituée des éléments suivants :

- 6 modules EOM (Electro-Optical Modules) fournis par Pyroscience pour mesurer la concentration d'oxygène dissous grâce aux optodes.
- Contrôleur de mouvement permettant de piloter un moteur brushless avec précision, garantissant une translation fluide du profileur.
- Carte ZETA, mini PC embarqué gérant le programme informatique et assurant la communication via Ethernet avec l'extérieur.
- Gestion d'alimentation, carte HT 300 V pour les hautes tensions et carte de distribution des basses tensions (24 V, 12 V, et 5 V).
- Caméra sous-marine et projecteur pour capturer des images de l'environnement et des organismes marins en grande profondeur.

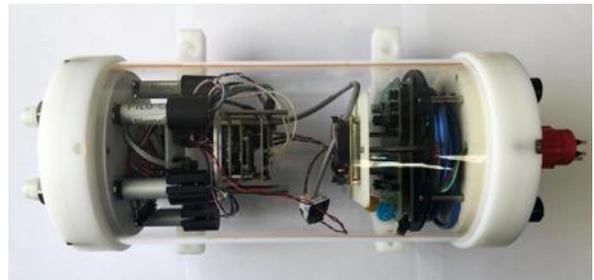


Figure 18 : Cylindre de l'électronique de commande



Figure 19 : IHM avec visualisation de la caméra

Le développement mécanique :

- Design et fabrication du système de mouvement, caisson équipression moteur.
- Conception du cylindre électronique étanche et résistant à la pression de 310 bars.

Ainsi, le Bathyprof est conçu pour fournir des données précises et en temps réel, permettant une meilleure compréhension des dynamiques benthiques et des écosystèmes marins profonds.

2.5.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Les tests en laboratoire au LSCE ont permis de valider le bon fonctionnement des différents composants du Bathyprof, notamment les modules opto-

électroniques et le système de translation, garantissant ainsi sa capacité à fournir des mesures précises en environnement réel.



Figure 20 : Tests en eau

2.5.4. Perspectives

Le profileur Bathyprof doit être intégré au robot BathyBot et mis à l'eau courant l'année 2025. Cette étape marquera le début de la phase de surveillance continue des écosystèmes marins profonds, avec pour objectif de recueillir des données en temps réel sur les dynamiques benthiques et leur réponse aux changements environnementaux.

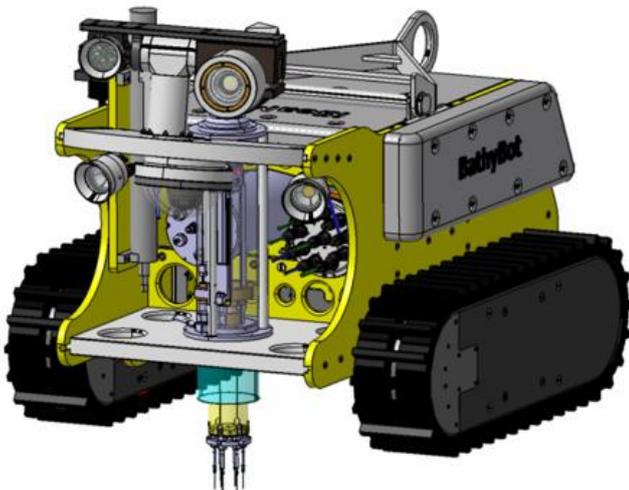


Figure 21 : Vue 3D du profileur intégré dans le robot

Personnel DT impliqué :

Oualid Aouji : coordination projet, conception et développement des cartes électroniques, intégrations, informatique IHM.

Gilles Buchholtz : informatique embarquée.

Alexandre Blin : conception mécanique.

Aurélien Cléménçon, Benoît Lemaire : réalisations mécaniques.

Contact :

oualid.aouji@cns.fr

2.6. CAER

Chambre d'Analyses d'Evapo Respiration

Laboratoire demandeur : CESBIO.

Chercheur responsable : Bartosz Zawilski.

2.6.1. Objectifs scientifiques

Le but est de construire un appareil bon marché, simple et efficace pour mesurer l'efflux de dioxyde de carbone, l'influx d'oxygène et l'évaporation du sol et de l'étalonner. Deux différents modes de fonctionnement doivent être étudiés : mode classique dit série et mode autonome.

Le premier verrou technique est de pouvoir correctement simuler le processus de la respiration dans le sol, c'est-à-dire le processus de la production du CO₂ et de la destruction simultanée de l'O₂ pour étalonner les chambres (qui ne le sont jamais). Un autre verrou est de ne pas pouvoir tout automatiser et de devoir laisser le traitement des données aux utilisateurs.

2.6.2. Activités de la DT

La DT est intervenue sur ce projet suite à une demande de soutien et l'appel d'offres CSIIT. L'objet de la demande concernait la conception, l'étude de la carte de routage de cet appareil. Cette carte devait permettre d'interconnecter plusieurs modules électroniques du commerce animés par un micro-contrôleur Arduino.

Après une phase de définition du cahier des charges de la carte électronique, nous avons fait le choix de confier ce projet à un stagiaire de BUT Génie Electrique et Informatique Industrielle de l'IUT de Vélizy. Le stage s'est déroulé entre avril et juillet 2023.

- Définition du cahier des charges, création des empreintes.
- Essais de fonctions avec graveuse pcb (sécurisation des boutons).
- Conception et gravure d'une carte pour l'Arduino pour brancher tous les modules filles.
- Consolidation des tests et conception, saisie du schéma de la carte sous KiCAD.
- Routage.
- Programmation des cartes filles en parallèle.
- Commande en S/T de la carte PCB.
- Tests et validations.
- Livraison carte au CESBIO en septembre 2023.

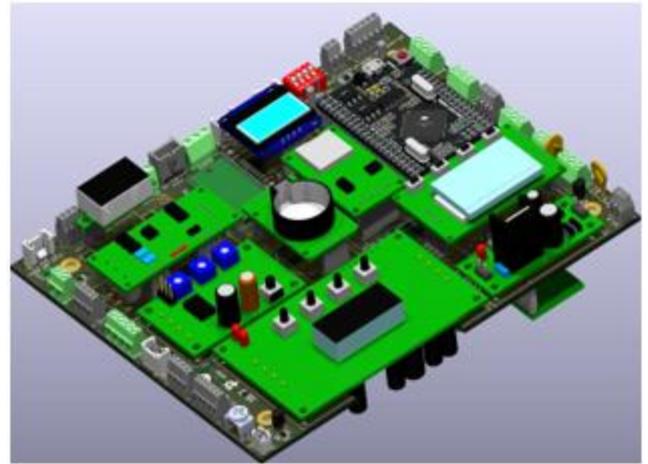


Figure 22 : Conception de la carte

A la suite de ce développement, un dossier de câblage de l'ensemble électronique a été défini. La fabrication de plusieurs exemplaires de la partie électronique a ainsi pu être confiée à un sous-traitant.

Le prototype a ensuite été intégré au CESBIO par B. Zawilski. Il a aussi été présenté aux Journées de la Mesure et Métrologie (J2M), à Sète en octobre 2023.



Figure 23 : Intégration de la partie électronique dans l'instrument



Figure 24 : L'instrument avec sa chambre



Figure 25 : L'instrument a obtenu la médaille d'Or des 17èmes Journées de la Mesure et Métrologie

En 2024, au CESBIO, quatorze exemplaires des chambres ont été assemblés. Sept exemplaires sont transmis à la station FR-Aur pour exploitation (TLR 8). Six autres servaient aux tests et la comparaison de différentes configurations (TLR 9). Actuellement, l'un exemplaire, muni des flotteurs, est exploité sur un bassin de décantation d'une station d'épuration (TLR 9). Les six autres partent à Montpellier pour les études des effets de la sécheresse et deux chambres restantes attendent d'être assemblées pour servir aux tests de respiration avec le simulateur de respiration, ainsi qu'à la R&D sur d'autres configurations possibles (chambre transparente TLR 5).

Coté DT, la demande initiale est terminée.

Personnel DT impliqué :

Nadir Amarouche : coordination DT, électronique, informatique embarquée.

Gabriel Degret : support électronique.

Fabien Frerot : support électronique.

Tiago Amorim Rodrigues (stagiaire) : électronique, logiciel embarqué.

Contact :

nadir.amarouche@cns.fr



Figure 26 : Alignement de 6 exemplaires

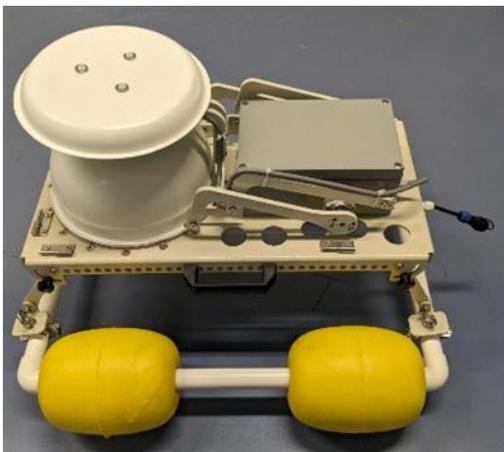


Figure 27 : Exemple muni de flotteurs

2.7. Carioca MedSea

Laboratoire demandeur : LOV.

Chercheur responsable : Laurent Coppola.

2.7.1. Objectifs scientifiques

- Mesure de la pression partielle de CO₂, de la concentration en oxygène, la température et la salinité à 3 m sous la surface de l'océan au site Boussole (Méditerranée) afin d'analyser les processus physiques et biogéochimiques responsables de la variabilité de pCO₂ et O₂.
- Déterminer la production biologique et vérifier les hypothèses sous-jacentes aux estimations de production biologique quant à l'homogénéité des variables physiques et biogéochimiques dans la couche de mélange.

2.7.2. Description technique

La DT-INSU a été chargée d'adapter le capteur de pCO₂ Carioca pour des déploiements sur la bouée Boussole :

- Pouvoir résister à une pression jusqu'à 4 bars.
- Encombrement et poids minimum.
- Autonomie jusqu'à 8 mois et enregistrement des données sur data logger.

La mesure de pCO₂ est basée sur des mesures de l'absorbance optique d'un colorant mis en équilibre avec l'eau de mer au travers d'une membrane semi-perméable au gaz. Des mesures spectrophotométriques réalisées à 3 longueurs d'onde permettent une mesure du pH (et de la pCO₂ après étalonnage) de la solution.

Les capteurs nécessitent d'être étalonnés à la DT avant et après leur déploiement (voir l'article sur le laboratoire national d'étalonnage pCO₂).

Les capteurs effectuent des mesures horaires de pCO₂ et température.

2.7.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Quatre capteurs de pCO₂ ont été développés et fabriqués par la DT-INSU. Ces capteurs, ainsi que des optodes (O₂) et thermosalinographes (température et salinité) sont déployés à tour de rôle à 3 m sur la bouée Boussole et sont permutés tous les 6 à 8 mois depuis 2013.

A l'issue de leur déploiement, les capteurs pCO₂ reviennent au laboratoire d'étalonnage de la DT-INSU afin d'y être maintenus et étalonnés.

2.7.4. Perspectives

L'ANR Biocarex s'est terminée fin 2016 mais le projet a continué afin de poursuivre les observations de CO₂ en Méditerranée jusqu'en 2023.



Figure 28 : Capteur pCO₂ déployé sur la bouée Boussole

Publication :

Merlivat L., Hemming M., Boutin J., Antoine D., Vellucci V., Golbol M., Lee Gareth A., Beaumont L., « Physical mechanisms for biological carbon uptake during the onset of the spring phytoplankton bloom in the northwestern Mediterranean Sea (Boussole site) », *Biogeosciences*, 19, 3911-3920, <https://doi.org/10.5194/bg-19-3911-2022>.

Personnel DT impliqué :

Benoit Arnold, Christine Drezen, Laurence Beaumont.

Contact :

laurence.beaumont@cns.fr

2.8. Carioca SO-CHIC

Laboratoire demandeur : LOCEAN.

Chercheur responsable : Jacqueline Boutin.

2.8.1. Objectifs scientifiques

- Quantification des flux de CO₂ à l'interface air-mer-glace de l'Océan Austral et estimation de la variabilité interannuelle de la chaleur et du stockage du carbone.
- Amélioration de la compréhension de la distribution spatiale et de la variabilité des échanges de chaleur et de carbone entre l'atmosphère et l'océan profond, en se focalisant sur la dynamique de la couche de mélange et sa relation avec la distribution de la glace de mer.

2.8.2. Description technique

La bouée SO-CHIC est une bouée de type Carioca. La société NKE a été chargée de sa fabrication. Cette bouée effectue des mesures horaires de pCO₂, température, oxygène, salinité, fluorescence, vent et pression atmosphérique. Les données sont transmises en quasi temps réel par satellite Argos.

La DT-INSU a été chargée de l'étalonnage du capteur pCO₂ et a aidé à l'interprétation des données techniques transmises par la bouée lors de sa dérive

2.8.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

La bouée a été déployée en janvier 2022.

Elle a effectué des mesures pendant 17 mois jusqu'en juin 2023.



Figure 29 : Mise à l'eau de la bouée SO-CHIC dans l'océan Austral le 23 janvier 2022

Publications :

- Naëck Kirtana, Boutin Jacqueline, Beaumont Laurence, Lourenco Antonio, Sallée Jean-Baptiste, « CARIOCA observations - SO-CHIC Cruise 2022 », 2024, SEANOE. <https://doi.org/10.17882/100800>
- Kirtana Naëck, Jacqueline Boutin, Sebastiaan Swart, Marcel Du Plessis, Liliane Merlivat, Laurence Beaumont, Antonio Lourenco, Francesco d'Ovidio, Louise Rousselet, Brian Ward et al, « Anomalous Summertime CO₂ sink in the subpolar Southern Ocean promoted by early 2021 sea ice retreat », DOI: 10.5194/egusphere-2024-2668

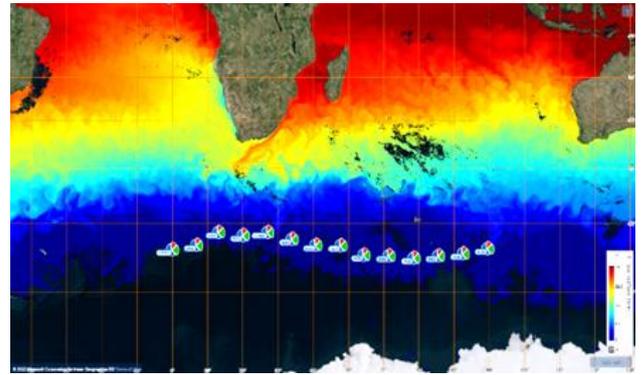


Figure 30 : Dérive de la bouée SO-CHIC dans l'Océan Austral

Personnel DT impliqué :

Laurence Beaumont.

Contact :

laurence.beaumont@cnsr.fr

2.9. CASPA-PICO

Capteurs et sciences participatives, plateforme individuelle, connectée, mutualisée et open source

Laboratoire demandeur : LATMOS.

Chercheur responsable : Sébastien Payan.

2.9.1. Objectifs scientifiques

La demande de soutien vient du constat que la plupart des capteurs environnementaux sont propriétaires et non ouverts. Un besoin croissant pour des projets participatifs :

- compléter les mesures standard (cartographie),
- diminuer les coûts des réseaux,
- suivre l'exposition individuelle à la pollution atmosphérique,
- soutenir l'action publique et citoyenne (remédiation, réduction de l'exposition),
- favoriser la conscience environnementale des citoyens,
- favoriser l'acquisition de connaissance des citoyens,
- initier des études nouvelles, transdisciplinaires.

2.9.2. Description technique

Il s'agit d'un projet technique développé à la DT pour l'ouverture à la communauté scientifique : une plateforme mobile légère pour des actions participatives sur la qualité de l'air (ou autre !).

- connecté,
- open source,
- évolutif / modulable,
- maîtriser la qualité de mesure,
- avoir un échantillonnage adapté,
- disposer d'une autonomie suffisante,
- synchroniser, géolocaliser,
- transmettre et visualiser les mesures facilement,
- le cas échéant, assurer l'anonymat du porteur.

Les objectifs techniques et scientifiques du projet étaient les suivants :

- co-développement d'une plateforme de micro-capteur utile à plusieurs groupes scientifiques,
- finalisation de l'état des lieux avec un descriptif des besoins ainsi qu'un cahier des charges,
- développement de la plateforme de capteur.

2.9.3. Activités de la DT

2021 :

Prise de contact LATMOS / DT, présentation du projet et des attendus par équipe.

Traduction du besoin scientifique en spécifications techniques des besoins en s'appuyant aussi sur l'existant développé dans le cadre du projet MoUVie (Fondation Sorbonne Université).

Transfert à la DT d'une maquette, des plans et outils logiciels du prototype.

Prise en main par l'apprenti ingénieur en électronique du projet. But : faire évoluer l'architecture μC de l'existant vers un μC plus puissant et avec plus de connectivités (Wifi, Bluetooth...). Premiers essais de Raspberry PI, Teensy, ESP32, etc, de consommation, de connectivité uniquement sous environnement Arduino.

2022 :

Sélection de l'ESP32 sous Arduino qui correspondait le mieux au cahier des charges et notamment la partie puissance de calcul et connectivité.

Adaptation des fonctions au nouveau μC (liaison avec les capteurs, enregistrement, affichage ...).

Travail de définition LATMOS / DT sur le sujet de projet des étudiants de PolyTech Paris Sorbonne, sur le développement d'un dock Wifi Ethernet (livraison du dock en juin 2022).

2023 :

Finalisation du développement de la carte électronique.

Développement des cartes filles.

Développement du logiciel d'acquisition et de flux de données.

CAO du casing et intégration mécanique.

2024 :

Tests en laboratoire et sur terrain.

Evolution des cartes filles.

Développement du logiciel d'acquisition et de flux de données.

Evolution de la CAO du casing et de l'intégration mécanique.

Détail des activités en électronique et informatique embarquée :

- Conception schématique et d'empreintes.
- Routage de l'unité centrale.

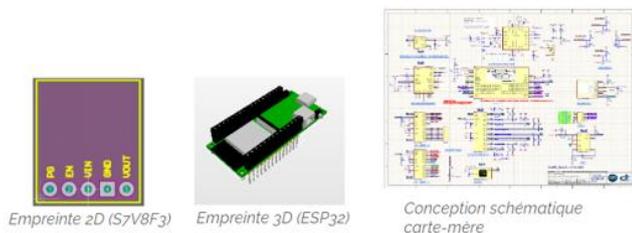


Figure 31 : Conception de la carte électronique

Cette carte électronique animée par un μC ESP-32 est dotée d'interfaces GROVE I2C, UART, d'une écran OLED.

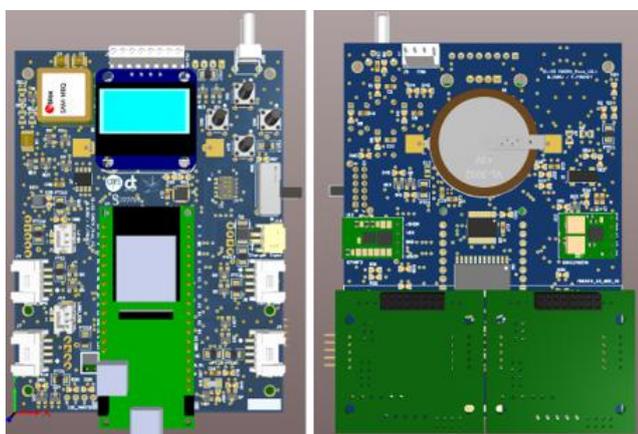


Figure 32 : Carte ESP32 de CASPA-PICO



Figure 33 : Version finalisée

A la suite de cette première version, le projet a convenu de séparer les capteurs de mesures via une carte fille externe pour pouvoir avoir plusieurs versions.

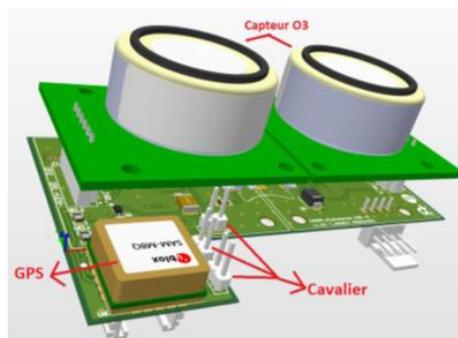


Figure 34 : Carte fille v2.0

Détail des activités en mécanique :

En parallèle, un travail en intégration et CAO mécanique a été mené pour concevoir différentes versions de casing et réaliser celui-ci par impression 3D.

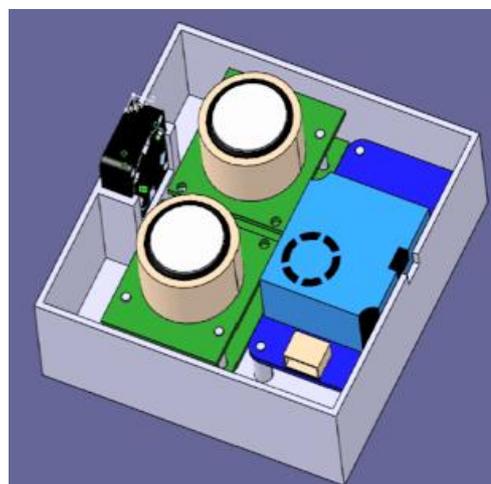


Figure 35 : Vue CAO 3D de l'intérieur du boîtier capteur (fan, capteurs gaz O3/NO2, compteur particules)

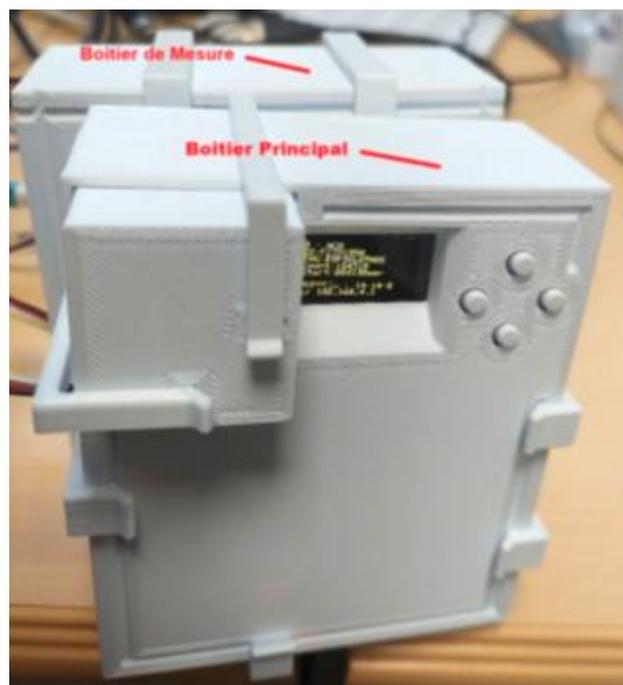


Figure 36 : Casing imprimé en 3D pour la carte principale et son boîtier de mesure en arrière

Détail des activités en flux de données :

Le module μC ESP32 a été programmé afin de réaliser les mesures et les fournir de plusieurs façons : fichier local, datas sur un serveur web accessible via un smartphone par exemple, transmission vers un serveur distant (cette partie n'est pas terminée et fait l'objet de la suite de l'activité en 2025).

2.9.4. Campagnes, déploiements ou expériences

Un ensemble de 2 capteurs a été confié aux stagiaires du LATMOS en avril 2024, leurs résultats sont repris ici.

La question était de valider le bon fonctionnement du système réalisé et livré en regard de capteurs de références. Deux versions avec et sans ventilateurs ont été mis à disposition.

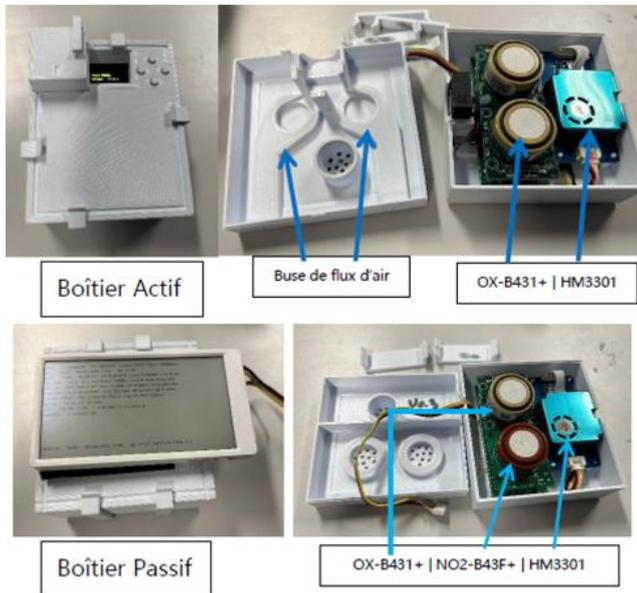


Figure 37 : Boîtiers utilisés pour les tests

Des tests ont menés sur le capteur de gaz O₃ en extérieur dans le parc de Choisy.

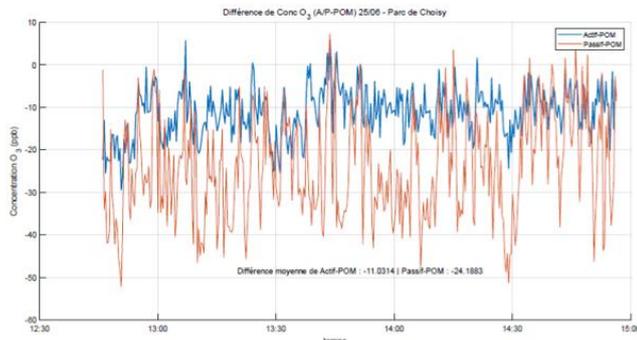


Figure 38 : Différence de concentration O₃

Ce test a montré que la version active (avec ventilateur) était plus proche du capteur de référence, et que l'erreur observée était en cohérence avec la précision du capteur.

Un second test a été mené sur le capteur de particules HM3301, en extérieur au Jardin des Halles à Paris.

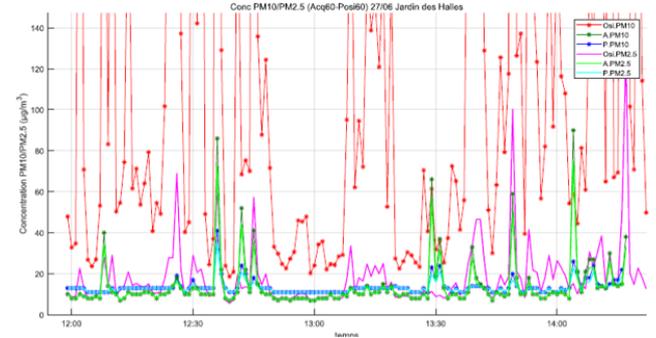


Figure 39 : Mesure de particules en air libre

Ce test a démontré la médiocre qualité du capteur utilisé HM3301 incapable d'observer les PM10. Suite à cette observation, l'équipe du LATMOS a choisi un nouveau compteur de particules issu d'AlphaSense pour évaluation (en cours).

Personnel DT impliqué :

Hervé Barrois : chef de projet DT-INSU.

Nadir Amarouche : soutien chef de projet, support développement logiciel d'acquisition.

Matthieu Freichey : support développement scripts.

Burak Duru (apprenti) : développement et conception électronique.

Fabien Frerot : support électronique.

Benoit Arnold : mécanique CAO et impression 3D.

Tiago Amorim Rodrigues (stagiaire) : électronique.

Billal Moussaoui (stagiaire) : électronique.

Contact :

herve.barrois@cnsr.fr

2.10. CEMSOR 2

Laboratoire demandeur : MIO.

Chercheur responsable : Séverine Martini.

2.10.1. Objectifs scientifiques

La bioluminescence est présente chez plus de 75% des organismes marins. Mesurer cette lumière émise de façon spontanée ou stimulée mécaniquement par les organismes donne des informations qualitatives et quantitatives sur la présence des espèces, leur distribution, leurs migrations horizontales et verticales et sur les relations prédateurs-proies.

Malgré l'importance de la bioluminescence dans les écosystèmes marins et dans la pompe à carbone biologique, nos connaissances scientifiques sur ce phénomène sont limitées par les solutions techniques existantes qui restreignent notre capacité d'observer à la fois sur une large échelle spatiale et à haute fréquence temporelle.

CEMSOR 2 vise à développer un système robuste et reproductible à faible coût, permettant d'acquérir des données de bioluminescence et des informations biologiques sur l'environnement exploré. Cette balise sera déployable sur différents vecteurs : gliders, rosette, engins de pêche, bio-ARGO, animaux marins.

2.10.2. Description technique

Le principal défi de ce projet est la nécessité d'acquérir des données à haute fréquence d'échantillonnage tout en consommant peu d'énergie et en stockant les données in situ.

Le LIRMM développe le système d'acquisition sensible, rapide et frugale en énergie, basé sur un capteur de lumière haute sensibilité (Hamamatsu MPPC S13360-3075). Les mesures de lumière ainsi que d'autres paramètres (températures, pression, tensions système, ...) sont pilotées par une carte mère basée sur un microcontrôleur STM32. Celle-ci a pour extension une carte fille sur laquelle ont été implantés plusieurs régulateurs de tension, un capteur de pression (600 bars), la mémoire de stockage (flash 1 Go), une carte micro SD optionnelle, et l'alimentation haute tension (>50 V) du capteur de lumière ainsi que le capteur lui-même (déportable) et son amplification.

Le MIO développe les algorithmes de réduction des données permettant d'extraire les mesures pertinentes (pics de lumière issus de la bioluminescence), de les analyser et d'optimiser le stockage des données à bord de la balise.

Le système a connu plusieurs évolutions visant à réduire ses dimensions, sa consommation d'énergie, et à augmenter sa sensibilité aux très basses lumières.



Figure 40 : Carte mère + carte fille V1 + carte spécifique CEMSOR 2 en boîtier équipression pour tests de sensibilité en aquarium

Un des points durs de ce développement réside dans le fait d'embarquer suffisamment d'énergie pour alimenter cette balise tout en minimisant encombrement, poids et coût et en assurant une autonomie de plusieurs dizaines d'heures et une mise en œuvre aisée.

A cet effet, la DT développe une méthode d'encapsulation de piles lithium de très haute capacité dans une résine époxy et organise les tests de qualification pour 1000 mètres de profondeur.

2.10.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

- Participation à la rédaction du cahier des charges, du plan de développement et de tests.
- Participation aux tests en salle noire qui ont permis de valider l'architecture électronique et de sélectionner le capteur de lumière (photodiode) le plus sensible.

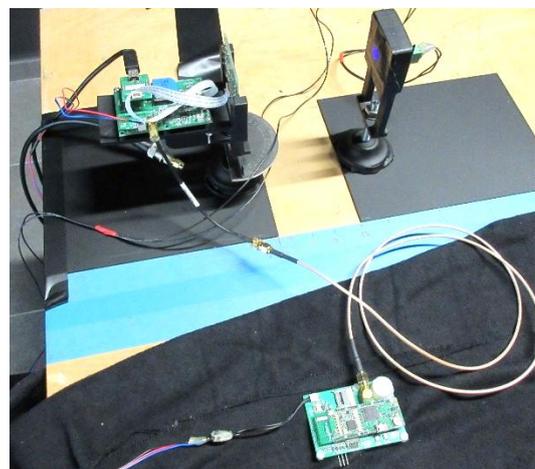


Figure 41 : Tests en salle noire avec la première version des cartes électroniques, carte mère + carte fille V1 + démonstrateur Hamamatsu

- Conception et développement du système d'encapsulation des piles lithium dans une résine époxy.



Figure 42 : Vue CAO et photo du système d'encapsulation

- Réalisation de plusieurs prototypes avec différents types de piles et de résines et mise au point de la procédure d'encapsulation.



Figure 43 : Différents prototypes réalisés et qualifiés pour 1000 m. Celui du bas a été retenu pour le projet et est reproduit pour les premiers déploiements en 2025.

- Organisation et suivi des tests de qualification à 1000 mètres de profondeur réalisés sur des missions MOOSE mensuelles ou sur des bateaux côtiers.



Figure 44 : Prototype prêt à être déployé à 1000 m de profondeur

- Recherche de solutions de recyclage des piles usées : aucun fournisseur ne peut récupérer

les packs de piles encapsulées. Il faudrait pouvoir extraire les piles de la résine pour les envoyer en recyclage. Cela nécessitera sans doute des modifications de notre système d'encapsulation.

2.10.4. Perspectives

Les premiers déploiements d'une balise complète sont prévus en 2025 lors de trois campagnes océanographiques : BIOLUMOPS-leg1 en mars, Réunion-CEMSOR2 en avril et BIOLUMOPS-leg2 en août. La DT fournira une dizaine de modèles pour ces premiers tests d'acquisition de données en conditions réelles et apportera son aide pour préparer ces missions, voire y participer si besoin.

En parallèle, nous étudierons la possibilité de désencapsuler les piles usagées afin de pouvoir les faire recycler.

Personnel DT impliqué :

Amandine Caillat, Carl Gojak, Didier Louber, Karim Mahiouz.

Contact :

amandine.caillat@cnsr.fr

2.11. Cloud-Collec

Laboratoire demandeur : LCE.

Chercheur responsable : Anne Monod.

2.11.1. Objectifs scientifiques

Les nuages sont constitués d'un ensemble de particules liquides et solides en suspension dans l'atmosphère terrestre. Ils jouent un rôle important dans le transport et la transformation des substances chimiques dans l'atmosphère, et aussi dans les processus météorologiques.

La formation d'une gouttelette d'eau nuageuse est intimement liée à la présence d'un noyau de condensation. Mais les processus de formation des nuages, avec tout ce que cela implique dans la connaissance des propriétés physiques et chimiques des noyaux, souffre d'un manque d'informations.

2.11.2. Description technique

C'est pourquoi des collecteurs de nuages de type CASCC (Caltech Active Strand Cloud Water Collector) ont été modifiés par le LCE (Laboratoire de Chimie de l'Environnement) afin d'être emportés comme charge utile scientifique par un ULM. L'efficacité de collecte est déterminée grâce à la comparaison des quantités d'eau prélevées et les données de distribution en taille des gouttelettes issues d'une sonde embarquée par le même ULM.

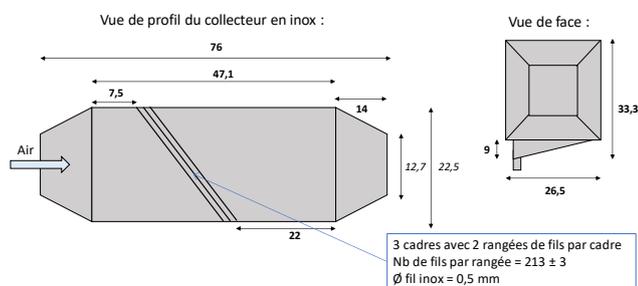


Figure 45 : Vue d'ensemble du collecteur en acier inox

Il y a 2 types de collecteurs : 1 en acier inox pour les analyses chimiques de la matière organique, et 1 en plastique pour les analyses des composés inorganiques. Ils sont assez similaires, basés sur la capture des gouttelettes sur des fils tendus. Mais du fait des matériaux différents, le nombre et le diamètre des fils sont différents. Les collecteurs sont équipés de tuyères isocinétiques amovibles à l'avant et à l'arrière.

2.11.3. Activités de la DT

Au vu de certaines variabilités de résultats obtenus à la fois sur le terrain et en soufflerie, il apparaît nécessaire de réaliser des simulations numériques. L'objectif du projet CLOUD-COLLEC est donc de

déterminer par calcul la fréquence de coupure des gouttelettes collectées en fonction de leur diamètre et de la vitesse du vent.

On effectue des simulations numériques de l'écoulement de l'air, en régime permanent, à l'intérieur des collecteurs, dans le but d'estimer les champs de vitesse et de s'en servir pour produire des études statistiques d'impact des gouttelettes sur les fils. Le problème rencontré lors de la phase de maillage vient de la dimension radiale des fils qui est très petite comparée à la longueur des fils et aux dimensions des collecteurs.

Le LCE a proposé que les simulations d'impact de gouttelettes soient réalisées sur la base de 12 valeurs de diamètre entre 2 et 50 μm . Au total, en comptant aussi le nombre de vitesses de vent, les différentes altitudes, et le nombre de types de collecteur avec et sans tuyère, le nombre total de simulations s'élève à 336 !

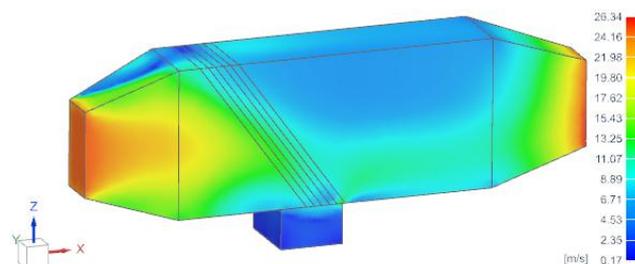


Figure 46 : Champ de vitesse (en m/s) en coupe par symétrie selon le plan ZX, dans le cas de la vitesse de vent à 25 m/s

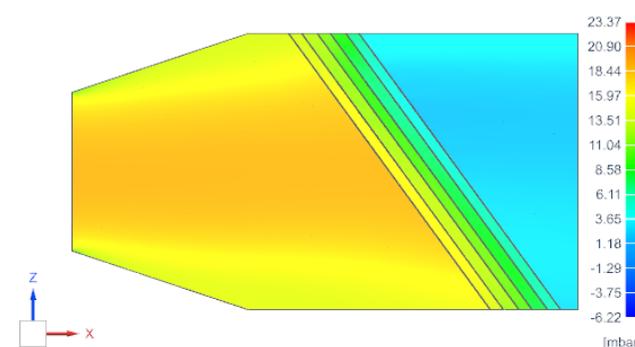


Figure 47 : Champ de pression (en mbar) depuis l'entrée jusqu'à après les cadres de fils tendus, dans le cas de la vitesse de vent à 40 m/s

De nombreuses informations sont obtenues sur l'efficacité de collecte des particules, mais aucune fréquence de coupure des particules collectées n'a pu être mise en évidence.

Personnel DT impliqué :

Christophe Berthod, modélisation, simulations.

Contact :

christophe.berthod@cnr.fr

2.12. CLOUDEX

Laboratoire demandeur : LaMP.

Chercheur responsable : Pierre Coutris.

2.12.1. Objectifs scientifiques

Les nuages jouent un rôle clé dans le bilan radiatif terrestre en raison de l'interaction intense entre les hydrométéores et le rayonnement. Mieux comprendre ces interactions nécessite de caractériser finement les propriétés optiques et microphysiques des nuages, notamment leur variabilité spatiale et la complexité des nuages de glace, afin d'améliorer leur représentation dans les modèles climatiques.

La mesure in situ est essentielle pour développer et valider des paramétrisations reliant propriétés optiques et microphysiques. La Plateforme de Mesures Aéroportées (PMA), adaptée à l'étude des nuages glacés, permet d'estimer l'extinction via divers instruments, mais ne dispose pas de mesure directe du coefficient d'extinction volumique, une donnée clé pour réduire les incertitudes et affiner les modèles.

La méthode classique d'estimation par transmission via la loi de Beer-Bouguer-Lambert est biaisée par la diffusion proche avant de la lumière par les particules. En raison de la variabilité des propriétés de diffusion des hydrométéores, une correction théorique universelle est inapplicable. La solution la plus prometteuse consiste à mesurer simultanément l'intensité transmise et la diffusion proche avant. Aucun instrument commercial ne le permet actuellement, et les prototypes existants présentent des erreurs trop importantes pour répondre aux exigences scientifiques, notamment dans les nuages glacés ou précipitants.

2.12.2. Description technique

L'équipe du LaMP en charge de la PMA a décidé d'inscrire le développement d'un tel instrument à son plan de développement pour la période 2020-2024. Afin de limiter le risque lié au caractère exploratoire de ce projet et de développer une meilleure compréhension de ce principe de mesure en présence d'hydrométéores aux propriétés radiatives complexes, le LaMP souhaite d'abord concevoir un prototype sol (maturité technologique TRL 5 minimum) permettant de mesurer au sol (en laboratoire ou sur site de mesure en plein air) l'extinction optique en environnement nuageux tout en limitant la complexité technique intrinsèque au développement d'une sonde aéroportée.

2.12.3. Activités de la DT

Une collaboration initiée en mars 2020 entre personnels du LaMP, de l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC/SDT) et de la DT-INSU, tous rattachés à l'INSU, a été instaurée.

Grâce à cette collaboration, les bases du projet ont été posées permettant la rédaction d'un cahier des charges décrivant le principe de mesure retenu, les exigences scientifiques ainsi que l'environnement d'utilisation et les fonctionnalités attendues du prototype. Les études préparatoires réalisées ont permis de sélectionner le principe de mesure et de proposer une architecture optique audacieuse, inspirée de solutions techniques existantes ou prometteuses (emploi d'un capteur CCD pour mesurer la diffusion sur une plage d'ouvertures angulaires). La phase de conception du système optique est engagée : l'équipe a travaillé à la modélisation numérique de l'instrument (à l'aide du logiciel Zemax/OpticStudio) et à la réalisation d'un démonstrateur de paillasse afin de dérisquer progressivement la mesure. Une revue de conception du système optique a été planifiée fin 2021.

La contribution de la DT-INSU a été essentielle sur l'ensemble du travail accompli tant sur le plan de la méthodologie projet que par l'expertise technique qu'elle apporte.

Tous ces travaux ont initié une identification des éléments catalogues optiques mais également électroniques, en vue d'un démonstrateur du principe de mesure. Ce démonstrateur est une pré-phase à la conception du prototype. Le soutien de la DT a cependant été gelé en attendant une refonte de l'équipe projet du LaMP.



Figure 48 : Localisation de l'extinctionmètre sur un aéronef

Personnel DT impliqué :

Johann Gironnet, Gabriel Degret, Nadir Amarouche.

Contact :

johann.gironnet@cnsr.fr

2.13. CODA

Laboratoire demandeur : LISA.

Chercheur responsable : Béatrice Marticorena.

2.13.1. Objectifs scientifiques

Les émissions de particules de poussière minérale constituent un sujet majeur d'étude en sciences de l'atmosphère du fait de leur impact sur la pollution en particules fines, sur les caractéristiques physiques atmosphériques, et sur les dépôts en nutriments pour les écosystèmes. Par exemple, les poussières émises par la région du Sahara sont observées dans le bassin méditerranéen et le sud de l'Europe. Les simulations de transport de poussières sont alimentées par des données issues de satellites et de stations au sol, mais de façon générale les mesures de dépôt, en particulier de dépôt sec, manquent pour contraindre les bilans.

Dans ce cadre, des mesures de terrain sont réalisées à l'Institut des Régions Arides (IRA) de Médenine (Tunisie) à l'aide de trois collecteurs passifs différents installés sur le toit du bâtiment le plus haut. Une campagne d'intercomparaison dédiée à l'étude du dépôt sec a été mise en place en 2017-2019, et les données acquises montrent une forte différence d'efficacité de collecte, alors même que l'éventuel impact du bâtiment sur l'écoulement d'air est inconnu.

C'est dans ce cadre que le projet CODA (Collecteurs passifs de Dépôts particuliers Atmosphériques) obtient un soutien de la DT-INSU.

2.13.2. Description technique

Le premier collecteur, de type frisbee inversé et entouré d'un anneau aérodynamique, est rempli d'une unique couche de billes en verre pour éviter la remobilisation des particules.



Figure 49 : Vue du frisbee inversé « old » de 320 mm de diamètre (sans son anneau aérodynamique)

Le deuxième collecteur est constitué d'un contenant de type frisbee inversé plus petit en diamètre que le précédent, mais plus profond et avec un rebord elliptique. Il est aussi entouré d'un anneau aérodynamique.



Figure 50 : Vue du frisbee inversé « new » de 250 mm de diamètre, à droite rempli d'une couche de billes

Quant à Caraga (Collecteur Automatique de Retombées Atmosphériques insolubles à Grande Autonomie), c'est un collecteur très différent des deux précédents car il a été conçu pour être semi-automatique et autonome. Dans sa partie supérieure, le réceptacle des poussières est constitué d'un entonnoir inséré dans une structure cylindrique.

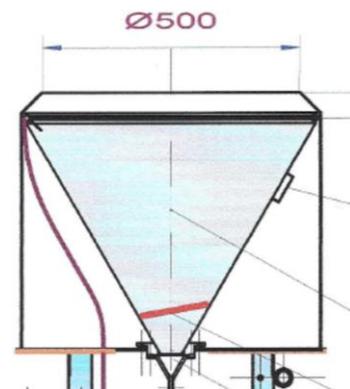


Figure 51 : Schéma de principe du collecteur Caraga

Les collecteurs ont été positionnés à une extrémité de la terrasse du bâtiment, de telle sorte que leur section de capture soit exposée à une hauteur identique, à 2,5 m au-dessus du sol de la terrasse.



Figure 52 : Vue du bâtiment de l'IRA et vue des collecteurs de dépôt de type frisbee et Caraga sur la terrasse

2.13.3. Activités de la DT

Le projet CODA porte sur deux tâches :

- Une première étude numérique de mécanique des fluides où les collecteurs sont soumis aux mêmes conditions de vitesse de vents et de gammes de particules ; cette étude est réalisée dans le but de produire des études statistiques d'impact de particules dans les collecteurs et d'expliquer les différences d'efficacité par intercomparaison relative.

- Une seconde étude de mécanique des fluides à plus grande échelle où le bâtiment de l'IRA qui accueille les collecteurs est représenté pour évaluer la perturbation qu'il crée sur le flux incident.

Simulations d'écoulement d'air et de dépôt de particules avec les collecteurs passifs :

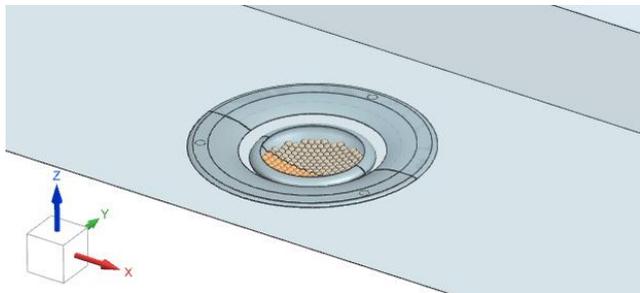


Figure 53 : Géométrie du frisbee inversé « new », partagé par le plan de symétrie, avec sa couche de billes

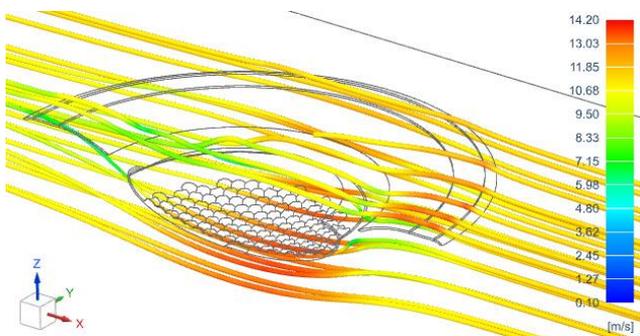


Figure 54 : Lignes de flux de l'écoulement autour du collecteur, affichées sous forme de tubes, dans le cas du vent à 12 m/s

Grâce à la visualisation des lignes de flux de l'écoulement, on a pu constater que si la géométrie du collecteur favorise la circulation d'air vers l'intérieur du contenant, alors les particules ont tendance à impacter plus souvent les surfaces de collecte. C'est là tout l'intérêt de l'anneau des frisbees inversés (avec une influence démontrée de la position de l'anneau du frisbee « new »), et l'intérêt de l'abandon recommandé du rebord sur le Caraga.

Simulations d'écoulement d'air pour évaluer la représentativité des mesures sur le bâtiment :

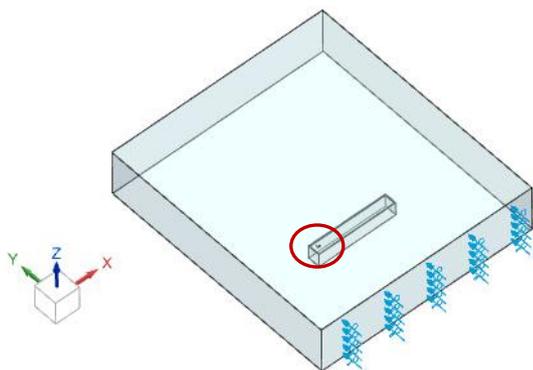


Figure 55 : Domaine de calcul avec le bâtiment orienté sur le vent d'ouest (instruments dans la zone rouge)

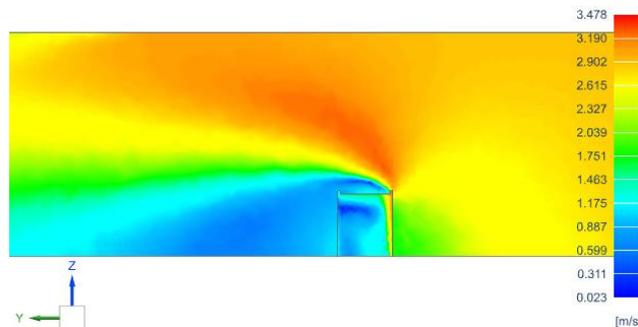


Figure 56 : Champ de vitesse dans le plan de coupe vertical passant par les frisbees, dans le cas du vent d'ouest à 3 m/s

En ce qui concerne les simulations de l'écoulement d'air autour du bâtiment, effectuées successivement sur 8 directions de vent, les résultats montrent une forte dégradation du flux d'air, et donc une représentativité désastreuse des collecteurs, pour certaines directions du vent.

En conclusion, les simulations d'écoulement autour des collecteurs puis autour du bâtiment ont nécessité un nombre très élevé de calculs : 1008 simulations pour les collecteurs et 240 indicateurs de représentativité pour les points de mesure installés sur le toit du bâtiment.

Personnel DT impliqué :

Christophe Berthod, modélisation, simulations.

Contact :

christophe.berthod@cnr.fr

2.14. Collecteur de nuage

Laboratoire demandeur : LaMP.

Chercheur responsable : Laurent Deguillaume.

2.14.1. Objectifs scientifiques

Un nuage est constitué d'un ensemble de particules liquides et solides dans l'atmosphère terrestre. Le diamètre des particules varie typiquement de quelques micromètres à 100 micromètres.

Les nuages jouent un rôle important dans le transport et la transformation des substances chimiques dans l'atmosphère, et aussi dans les processus météorologiques. Ils génèrent les précipitations, participent à la transformation physique et chimique des polluants, affectent localement et globalement la température de la surface terrestre, et constituent un lien crucial dans le cycle hydrologique.

L'analyse de l'eau capturée directement dans l'atmosphère donne l'opportunité de prendre connaissance de la composition chimique des différents types de nuage et de mieux comprendre les réactions chimiques qui se déroulent dans les gouttelettes. C'est pourquoi les collecteurs d'eau de nuage sont des équipements essentiels, aussi bien au sol qu'embarqués sur avion.

2.14.2. Description technique

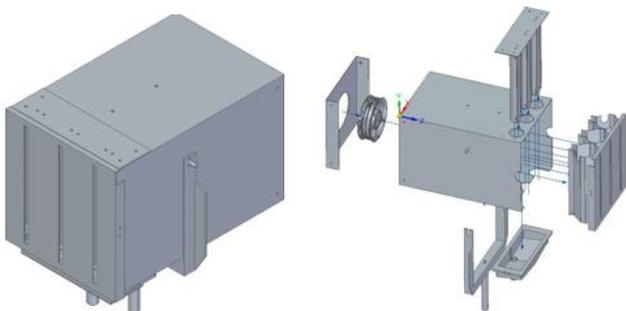


Figure 57 : Vue d'ensemble du collecteur de nuage (à gauche) et vue éclatée (à droite)

Le collecteur de nuage qui a été développé à l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC), au sein du Laboratoire de Météorologie Physique (LaMP), est de type CWS (Cloud Water Sampler). Il est constitué d'une coque avec un ventilateur à l'arrière pour l'aspiration de l'air, d'une face avant avec 3 fentes, de trois plaques pour la collecte des gouttelettes de nuage, d'un entonnoir et d'une bouteille.

Le ventilateur est relié à un variateur de fréquence qui permet de moduler la vitesse d'aspiration et, par conséquent, l'efficacité de collecte.

2.14.3. Activités de la DT

L'objectif de la demande de soutien à la Division Technique de l'INSU est d'effectuer une étude en mécanique des fluides afin de simuler l'écoulement de l'air dans le collecteur et le déplacement des gouttelettes. On considère plusieurs diamètres de particules (gouttelettes de diamètre entre 5 et 20 μm) et plusieurs vitesses d'aspiration.

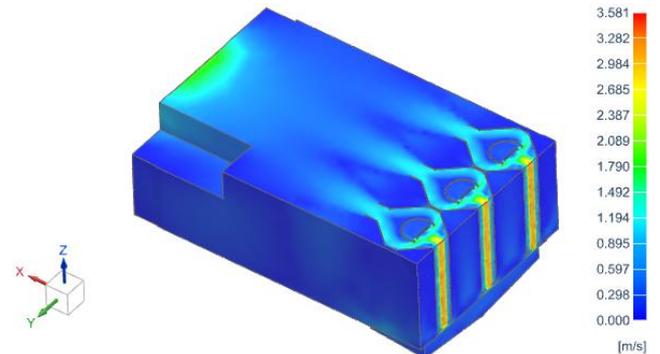


Figure 58 : Champ de vitesse (en module) en coupe, dans le cas de la vitesse d'aspiration à 2 m/s en sortie

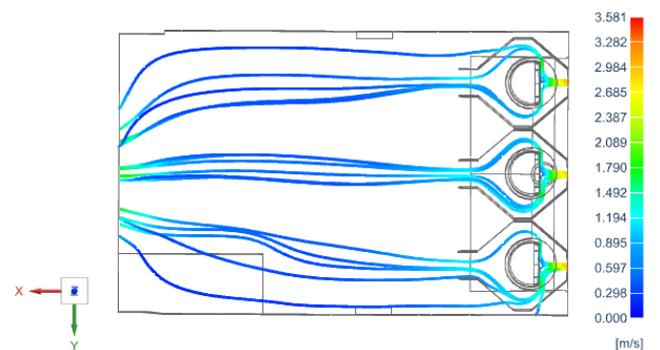


Figure 59 : Quelques lignes de flux de l'écoulement dans le collecteur vu du haut

Un des résultats des calculs concerne les statistiques d'impact des particules dans le collecteur, pour mettre en évidence la fréquence de coupure à 50% des particules collectées en fonction du diamètre et de la vitesse.

Publication :

Mickaël Vaïtilingom, Christophe Bernard, Mickaël Ribeiro, Christophe Berthod, Angelica Bianco, Laurent Deguillaume, « Design and evaluation of BOOGIE: A collector for the analysis of cloud composition and processes: Biological, Organics, Oxidants, soluble Gases, inorganic Ions and metal Elements », Atmospheric Measurement Techniques, <https://doi.org/10.5194/amt-2024-95>, 2024.

Personnel DT impliqué :

Christophe Berthod, modélisation, simulations.

Contact :

christophe.berthod@cnsr.fr

2.15. Cyber Carothèque Nationale

Laboratoire demandeur : EDYTEM / EPOC.

Chercheurs : Fabien Arnaud / Xavier Crosta.

2.15.1. Objectifs scientifiques

L'objectif du projet est de développer un système de gestion numérique pour les carottes sédimentaires à l'échelle nationale.

2.15.2. Description technique

Le système est constitué d'un portail de visualisation et d'une interface de saisie de rapport de mission.

Le portail permet de porter à la connaissance des chercheurs les échantillons existants répartis dans les diverses carothèques.

Le module de saisie de rapport de mission permet de collecter les informations à la source, c'est à dire sur le terrain, grâce à une application mobile (développée par Bruno Galabertier - EDYTEM).

2.15.3. Activités de la DT

Après la mise en production en 2017, il a été décidé en 2019 de transférer l'hébergement, la maintenance et les futures évolutions de la cyber carothèque à l'OASU. La migration a eu lieu en octobre 2020.

Personnel DT impliqué :

Elodie Godinho.

Contact :

elodie.godinho@cnsr.fr

2.16. Cyclopée

Laboratoire demandeur : Observatoire de Paris (laboratoire Syrte).

Chercheur responsable : Pascal Bonnefond.

2.16.1. Objectifs scientifiques

Le but est d'effectuer la calibration et la validation (Cal/Val) des altimètres embarqués sur les satellites Jason, Sentinel et SWOT, donc pour mesurer in-situ le niveau de la mer, des lacs et des fleuves ; ainsi que pour mesurer le géoïde marin.



Figure 60 : Système Cyclopée monté à l'avant du navire : altimètre acoustique, antenne GPS, inclinomètre montés sur bras stabilisateur

Il s'agit de la conception et de la fabrication d'un système couplé, composé d'un altimètre acoustique pour mesurer la distance par rapport à la surface de l'eau, et la référence d'une antenne GNSS permettant ainsi de mesurer l'altitude de l'eau. Cet ensemble est monté sur un bras stabilisateur afin de garder autant que possible l'horizontalité. Connaissant précisément (~1 mm) la distance entre le point de référence de l'antenne GPS et celui de l'altimètre, on pourra donc en déduire la hauteur de la surface de l'eau.

Une utilisation du système est demandée pour des navires à faible tirant d'air (<4 mètres) ainsi que pour des navires à fort tirant d'air (>6 m).

Cyclopée a été développé dans le cadre du projet FOAM (From Ocean to Inland waters Altimetry Monitoring).

2.16.2. Description technique

Le système est équipé :

- D'un altimètre acoustique ToughSonic 14 (portée 3 m), de 10 Hz à 20 Hz, compensé en température, faisceau 12°.
- D'un inclinomètre MEMS DOG2 Pematron 0.15°, 50 Hz.
- D'une antenne GNSS.
- D'un bras stabilisateur DJI Ronin.

Le boîtier de commande est constitué :

- D'un Raspberry 3B+.
- D'un boîtier GNSS BX 940 Trimble.
- D'un routeur Ethernet et Wifi.
- D'un régulateur 12/5V.

Le dispositif est alimenté par une batterie 12V. Le dispositif est marinisé par l'ajout d'une gaine étanche.

L'ensemble est piloté par une carte Raspberry 3B+ programmée en Python 3. Les capteurs délivrent des trames qui sont lues sur des ports USB à 20 Hz. Les données de niveau, roulis et tangage sont envoyées par UDP sur des ports qui sont lus par l'interface graphique qui affiche en temps réel ces paramètres sur un petit écran tactile ou sur téléphone.



Figure 61 : Interface de visualisation

2.16.3. Activités de la DT

Le projet a été financé depuis 2016 grâce au projet FOAM financé par le CNES pour construire un prototype. La DT Brest est responsable de la conception et de la réalisation du dispositif (mécanique, électronique, interfaces, programmation) et des essais pour la validation du principe de mesure. La DT Brest et La Seyne ont assuré la participation à la mise en œuvre du système au bassin d'essai de Ifremer et en mission en Guyane, à Madagascar, en Nouvelle Calédonie, au Vietnam.

2.16.4. Résultats et perspectives

Les mesures avec ce système ont débuté en 2016.

Des mesures d'intercomparaisons ont été faites sur le site de référence français de Cal/Val à Senetosa en Corse et ont obtenu de très bons résultats. Le système a ensuite été utilisé en mer (Corse, Nouvelle-Calédonie, Vietnam), en fleuve (en Guyane sur le

Maroni et l'Oyapock, sur la Willamette River dans l'Oregon, sur la Garonne et la Seine).



Figure 62 : Sur navire à fort tirant d'air

Les mesures acquises ont validé ce système qui est maintenant plébiscité par le CNES comme système de mesure de référence pour effectuer la Cal/Val in situ des altimètres embarqués sur les satellites.

Les développements vont se poursuivre par l'étude de l'utilisation d'un laser en remplacement de l'altimètre acoustique pour améliorer la portée, pour des navires à plus fort tirant d'air.

Personnel DT impliqué :

Christine Drezen, Lionel Fichen, Paul Dasi, Stéphane Renouf, Michel Calzas.

Contact :

lionel.fichen@cnsr.fr
michel.calzas@cnsr.fr

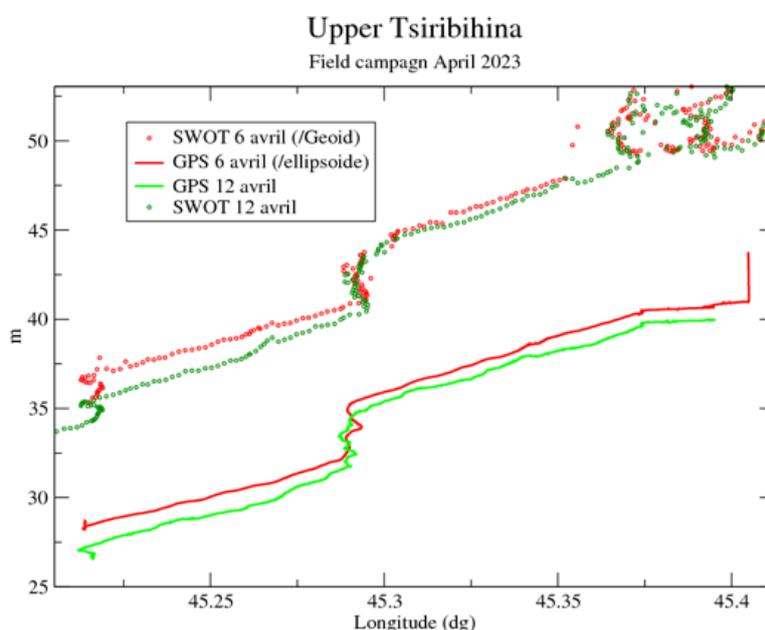


Figure 63 : Mesures effectuées sur le fleuve Tsiribihina (Madagascar) en mai 2023. Le biais de mesure entre le satellite SWOT et les mesures Cyclopée est dû à la différence de référence entre les satellites (géoid pour SWOT et ellipsoïde pour GPS, soit +8 m à cette position)



Figure 64 : Navire équipé sur le fleuve Tsiribihina

2.17. DEEPNET

Laboratoire demandeur : MIO - UMR 7294.

Chercheuse responsable : Karine Leblanc.

2.17.1. Objectifs scientifiques

Les DEEPNETs (filet à plancton allant sur un carrousel CTD) permettent d'échantillonner les stocks profonds de particules de manière quantitative. Cet outil est nouveau pour la communauté et permet d'accéder à un nouveau type d'échantillon répondant à de nouvelles questions sur la nature des particules en cours de sédimentation en milieu profond (pompe biologique de carbone). La concentration dans 50 ml de culot d'un volume filtré très important (plusieurs centaines de milliers de litres) permet d'obtenir des échantillons exploitables (en termes de structure de communauté, génomique, stocks chimiques, dénombrement, marquages fluorescents...) à partir d'une densité réelle dans les eaux de fond de 10-20 particules par litre seulement, c'est à dire non caractérisables à partir d'une Niskin classique.

2.17.2. Description technique

Les DEEPNETs sont constitués d'un boisseau sphérique entraîné par des ressorts élastiques (sandows) pilotés par 2 gâchettes de rosette CTD. Ces systèmes permettent une séquence fermé/ouvert/fermé afin de réaliser une filtration de la colonne d'eau entre -2000 et -500 mètres de profondeur en évitant leur contamination par les organismes rencontrés dans les autres couches d'eau.

Toutes les pièces métalliques sont en titane afin d'en faciliter l'entretien mais aussi pour pouvoir se greffer sur des rosettes dites propres, ou « trace metal clean », sans polluer l'échantillonnage des métaux traces. L'étanchéité des instruments est vérifiée par des blancs (DEEPNET déployé et remonté fermé) qui permettent de constater l'entrée ou non de cellules planctoniques notamment en provenance de la couche de surface beaucoup plus riche en plancton, ce qui est indispensable à une bonne estimation des stocks profonds. Le gain par rapport à un dispositif commercial Bottlenet lors d'un premier essai de comparaison a été d'un facteur 23.

2.17.3. Activités, campagnes, déploiements

Suite aux tests en bassin d'essais, le prototype a été validé lors d'une sortie à bord de l'Antédon II au droit du canyon de Cassidaigne, ainsi que lors de la campagne MOOSE GE 2022 du 06 septembre au 01 octobre 2022 et RHIZET en mars 2023.



Figure 65 : Prototype du DEEPNET

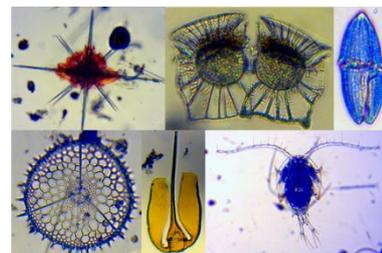


Figure 66 : Planctons prélevés avec le DEEPNET durant MOOSE GE 2022, entre 200 et 2000 m

2.17.4. Perspectives

L'amélioration de la fermeture et de l'étanchéité des systèmes est à l'étude. Autres campagnes à venir : BIOLUMOPS (mars et juillet 2025), WHIRLS (2026), SHORIZHO (pas encore financée).

Publications :

- K. Leblanc & al., « Key species driving POC, BSi and CaCO₃ export flux in the North Atlantic Procupine Abyssal Plain, role for nano-sized species in export », 2025 (in prep).
- K. Leblanc & al., « Silicone cycle in the North Atlantic in summer during the APERO cruise in the Procupine Abyssal Plain », 2025 (in pr).

Personnel DT impliqué :

Cédric Brachet.

Contact :

cedric.brachet@cns.fr

2.18. DeepSea'Nnovation

Laboratoire demandeur : GET.

Chercheuse responsable : Valérie Chavagnac.

2.18.1. Objectifs scientifiques généraux

Le projet DeepSea'nnovation (DSN) vise à développer un ensemble d'équipements instrumentaux à intégrer sur les engins sous-marins de la Flotte Océanographique Française (FOF). L'objectif est de renouveler et d'améliorer nos capacités d'exploration et d'intervention dans les grands fonds (6000 m) avec les engins sous-marins mis à disposition de la communauté scientifique. Les nouvelles charges utiles scientifiques couvriront un large éventail d'applications dans les domaines géophysiques, géologiques, biologiques, géochimiques et sédimentaires.

La communauté scientifique a défini trois grandes catégories d'outils à développer comprenant chacune cinq instruments différents, soit quinze lots en tout. La DT-INSU apporte son expertise sur trois lots, un instrument dans chaque catégorie :

- La perception spatiale des fonds marins ou de la colonne d'eau associe la mesure de paramètres physiques et chimiques à de nouvelles générations de capteurs d'imagerie optiques et acoustiques. La DT intervient sur la **caméra haute sensibilité bioluminescence**.
- Les mesures in situ (analyse des sédiments, gaz dissous) géoréférencées précisément à l'emplacement du capteur par le véhicule et l'opération des bras manipulateurs. La DT intervient sur le **profileur benthique**.
- L'échantillonnage spécifique (organismes délicats, larves, roches, eDNA,...) vise un niveau supérieur de performance en termes de masse/force/profondeur et de dextérité pour le prélèvement et l'analyse des échantillons. La DT intervient sur le **préleveur eDNA**.

Ces trois instruments étant très différents, tant du point de vue scientifique que technique, leur développement se fait au sein de trois sous-projets présentés séparément dans les parties suivantes.

2.18.2. Caméra bioluminescence

Objectifs scientifiques

La caméra haute sensibilité permettra d'étudier le phénomène de la bioluminescence présente chez 75% des organismes visibles dans la colonne d'eau et

40% des organismes en milieu benthique, mais encore peu étudié car peu observé et mesuré jusqu'ici. Cette caméra permettra : (1) d'obtenir une meilleure description des organismes bioluminescents et d'enregistrer les patterns lumineux émis in situ ; (2) de tracer la distribution spatiale des communautés et leurs migrations horizontales et verticales dans la colonne d'eau, moteur de la pompe à carbone ; (3) de mieux comprendre les liens entre émission de lumière et fonction écologique (relation proie/prédateur, fuite, attraction, ...).

Description technique

Le dossier d'avant-projet livré en 2022 et le cahier des charges livré en 2024 (en cours de validation par la Comex DSN) ont permis de choisir et d'approvisionner le matériel adéquat pour atteindre les performances optiques définies : caméra, objectif et lentille correctrice.

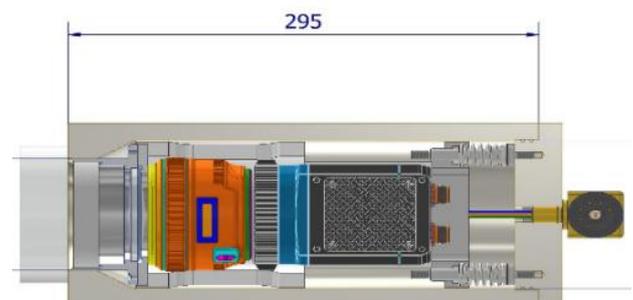


Figure 67 : Design mécanique de la caméra intégrée dans son caisson

Une torche multicolore permettant d'éclairer l'environnement accompagne cette caméra. L'électronique de cette torche est entièrement développée à la DT. Il est possible de choisir parmi 6 couleurs (R, G, B, W, UV, Cyan) et d'ajuster l'intensité.

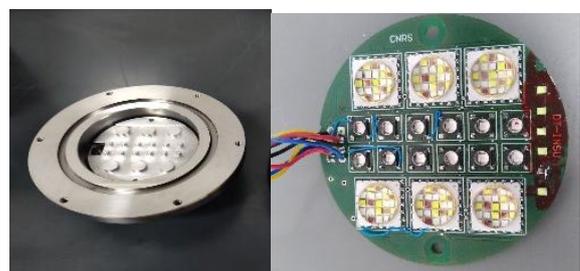


Figure 68 : Caisson et carte électronique de la torche multicolore

La DT intervient sur les aspects mécaniques et électroniques qui permettront de déployer cette caméra et son éclairage sur différents engins. Cette caméra est intégrée dans un caisson en titane avec un hublot transparent en borosilicate.

Activités de la DT

La DT apporte son expertise en ingénierie système afin : (1) d'intégrer la caméra dans son caisson ; (2) de

définir les interfaces pour embarquer cette caméra sur les différents engins sous-marins. La DT met ainsi à profit ses compétences acquises lors de l'intégration technique d'une caméra sur le crawler BathyBot déployé en 2022 sur l'observatoire sous-marin EMSO-LO. Les activités réalisées par la DT sont les suivantes :

- Participation à la rédaction du dossier d'avant-projet scientifique et technique livré en mars 2023, constituant la référence pour l'élaboration du cahier des charges.
- Participation à la rédaction du cahier des charges livré fin 2023 qui a mené au choix de la caméra (Canon ML-105 EF), de l'objectif adapté et à la conception de la lentille de correction par l'Ifremer. L'ensemble de ce matériel a été approvisionné en 2024.
- Conception mécanique pour intégrer cet ensemble caméra dans un caisson qualifié pour 6000 mètres fourni par KUM en 2024.
- Conception électronique de la torche multicolore.
- Conception mécanique du caisson dans lequel la torche sera intégrée.
- Conception mécanique des interfaces pour embarquer cette caméra et sa torche sur différents engins.

Personnel DT impliqué :

Carl Gojak, Didier Louber, Karim Mahiouz.

2.18.3. Profileur benthique

Objectifs scientifiques

Le profileur benthique est équipé de micro-optodes afin de mesurer des micro-profilés d'oxygène à l'interface eau-sédiments, zone de concentration importante de la matière organique sur le plancher océanique. Cet outil relie les flux de carbone dans la colonne d'eau au métabolisme benthique, permettant d'évaluer les variations de ce dernier en lien avec des observations visuelles et des données physico-chimiques.

Description technique

Le profileur destiné aux études benthiques est conçu pour fonctionner sous des pressions élevées (jusqu'à 6000 m) et est équipé de micro-optodes Pyroscience OXR50-OI-SUB permettant de mesurer les profils d'oxygène à l'interface eau-sédiment. Une tête de mesure comportant 6 capteurs, développée dans le cadre du projet Bathy-prof, est utilisée avec des

mécanismes de contrôle de dérive garantissant une grande stabilité et fiabilité des mesures.

La programmation de l'appareil est pensée pour être simple et intuitive. Le déclenchement des mesures, une fois le profileur positionné sur le fond marin à l'aide d'un ROV, s'effectuera via un interrupteur sous-marin. Les mesures couvriront une zone de 2 cm au-dessus et 10 cm dans le sédiment, avec des pas d'au moins 100 μm et une précision meilleure que 10 μm .

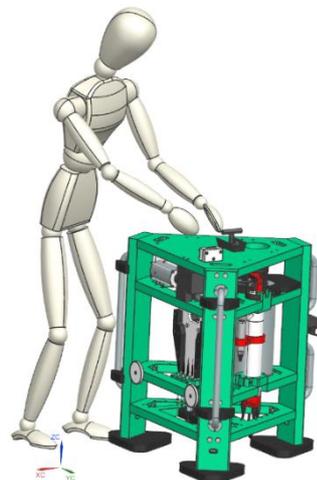


Figure 69 : 3D du profileur benthique complet

Activités de la DT

La DT intervient à la fois sur les aspects électroniques, logiciels et mécaniques. Le cahier des charges et un premier concept ont été validés en 2023. La DT développe les éléments suivants :

- Un système électronique basse consommation pour gérer l'ensemble des périphériques de l'instrument : carte mère, carte capteur, carte de contrôle de mouvement, carte d'alimentation, carte de recharge.

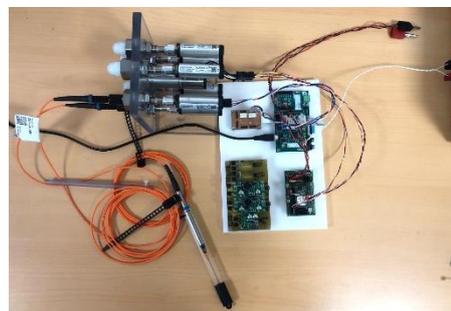


Figure 70 : Electronique de test

- Un logiciel embarqué intégrant un système multitâche basé sur FreeRTOS.
- Une interface utilisateur (IHM) permettant le paramétrage de l'instrument par les utilisateurs.

- Un caisson étanche conçu pour héberger l'électronique et les batteries, certifié à 750 bars.

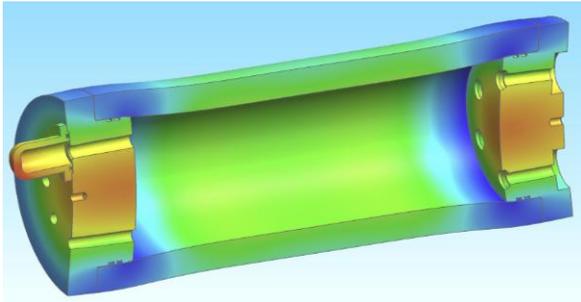


Figure 71 : Calcul de la déformation du caisson sous pression

- Un système de mouvement en translation verticale (SMTV) permettant le déplacement et les mesures des capteurs.
- Une structure robuste capable d'accueillir le caisson, le SMTV, l'interrupteur sous-marin et un capteur CTD, tout en respectant le cahier des charges du ROV concernant le panier et la manipulation de l'ensemble.



Figure 72 : Fabrication du SMTV

Personnel DT impliqué :

Oualid Aouji, Christophe Berthod, Gilles Buchholtz, Alexandre Blin, Benoît Lemaire.

2.18.4. Préleveur eDNA

Objectifs scientifiques

Le préleveur eDNA est un outil crucial pour le suivi et la caractérisation des écosystèmes, tant d'un point de vue écologique que fonctionnel. Il concerne donc une communauté scientifique élargie de virologues, de microbiologistes et de biologistes, qui travaillent dans la colonne d'eau ou dans les profondeurs de l'océan. Il doit répondre aux exigences techniques pour

préserver l'ADN environnemental libre capturé et l'ADN intracellulaire d'espèces microbiennes et planctoniques.

Description technique

Lors de la livraison du dossier d'avant-projet en 2023, l'ensemble des besoins scientifiques, multidisciplinaires, ne pouvaient pas être couverts par un instrument existant. En effet, selon les objectifs scientifiques et les environnements étudiés, les volumes d'eau à filtrer s'échelonnent de 1 à 100 litres, les filtres et les techniques de préservation sont différents.

Suite à une période de consultation et d'échanges avec la communauté scientifique, nous avons rationalisé les besoins : ce préleveur permettra d'utiliser trois types de filtres avec des pores de 0.22 µm et deux moyens permettant de préserver un maximum de matériel génétique (chimique et/ou thermique) pour les analyses différées à bord ou en laboratoire.

Pour les petits volumes jusqu'à 2 l, des filtres Sterivex sont utilisés et la préservation se fait par lyse chimique avec du RNALater ou du Longmire par exemple. Pour les volumes jusqu'à 10 l, des filtres plats de diamètre 47 mm sont associés à une lyse chimique puis une lyse thermique. Pour les volumes filtrés jusqu'à 100 l, des cartouches Wattera sont associées à une lyse chimique.

Depuis 2024, un instrument est commercialisé par la société MacLane pour les petits volumes avec des filtres Sterivex et le projet a décidé de l'acquérir. Il s'agit du RoCSI (Robotic Cartridge Sampling Instrument) revendu en France par la société Anhydre. Le RoCSI sera livré en juin 2025 et les interfaces mécaniques et électroniques avec les différents engins sont en cours de définition.

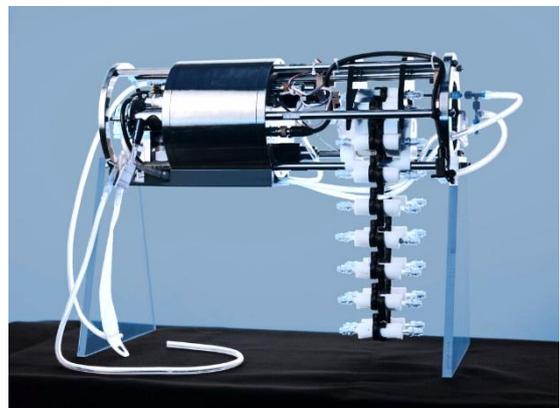


Figure 73 : Préleveur eDNA RoCSI

Les autres besoins (volumes > 2 l, lyses chimiques et thermiques) seront couverts par un instrument, eDNA DSN, développé au travers d'une collaboration

entre RDT de l'Ifremer à Brest, le GET du CNRS à Toulouse, le MIO à Marseille et la DT de La Seyne.

Activités de la DT

La DT apporte son expertise en ingénierie système, électronique et contrôle/commande sur le développement de cet instrument en se basant sur les résultats issus de la demande de soutien PASTIS (Préleveur, incubAteur, Séquenceur d'échanTillons In Situ) pour le MIO en 2021. Les activités de la DT pour ce préleveur sont les suivantes :

- Participation à la rédaction du dossier d'avant-projet scientifique et technique livré en mars 2023, constituant la référence pour l'élaboration du cahier des charges et de l'étude de marché.
- Réalisation d'une étude de marché en 2023, notamment au travers de la participation au salon Ocean Business et de nombreux échanges avec la société Anhydre.
- Participation à la rédaction du cahier des charges dont une première version a été livrée fin 2023, puis une deuxième fin 2024 suite à la décision d'acheter le RoCSI.
- Définition des interfaces avec les engins pour le préleveur RoCSI.
- Participation à l'implémentation des adaptations mécaniques, électroniques et logicielles du RoCSI et aux tests de validation sous pression et en piscine profonde.
- Organisation des réunions de suivi du projet, rédaction des CRs et de la documentation technique.

Personnel DT impliqué :

Amandine Caillat, Carl Gojak, Didier Louber, Karim Mahiouz.

profileur benthique et 2028, voire 2029 pour la caméra de bioluminescence et le préleveur eDNA.

Contact :

carl.gojak@cnrs.fr

2.18.5. Perspectives

Ces trois instruments sont actuellement en phase de développement : rédaction des spécifications techniques, conception détaillée et interfaçage avec les engins, réalisation de prototypes. A partir de 2026-2027, une phase de tests en conditions représentatives sera documentée par un cahier de recette opérationnelle, un document utilisateur et un dossier de mise en exploitation.

Le projet DSN s'achèvera en 2029 et la mise en exploitation de ces différents instruments se fera en accord avec leur maturité technologique actuelle selon le planning prévisionnel suivant : 2027 pour le

2.19. EMSO

Laboratoire demandeur : MIO.

Chercheur responsable : Dominique Lefèvre.

2.19.1. Objectifs scientifiques

L'objectif de ce projet est de déployer au large de Toulon une infrastructure sous-marine, dans le cadre des consortiums européens KM3NeT (Cubic Kilometre Neutrino Telescope) et EMSO (European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory), en exploitant l'expertise acquise sur l'expérience ANTARES. Tous deux sont inscrits sur la feuille de route ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures) des grandes infrastructures européennes. KM3NeT a pour objectif de construire en mer Méditerranée un nouveau télescope à neutrinos. Le consortium EMSO veut déployer sur les côtes européennes un réseau d'observatoires sous-marins permanents dédiés à la climatologie, l'océanographie, la biogéochimie, les géosciences et le suivi de la biodiversité. EMSO est devenu un ERIC (European Research Infrastructure Consortium) au cours de l'année 2017.

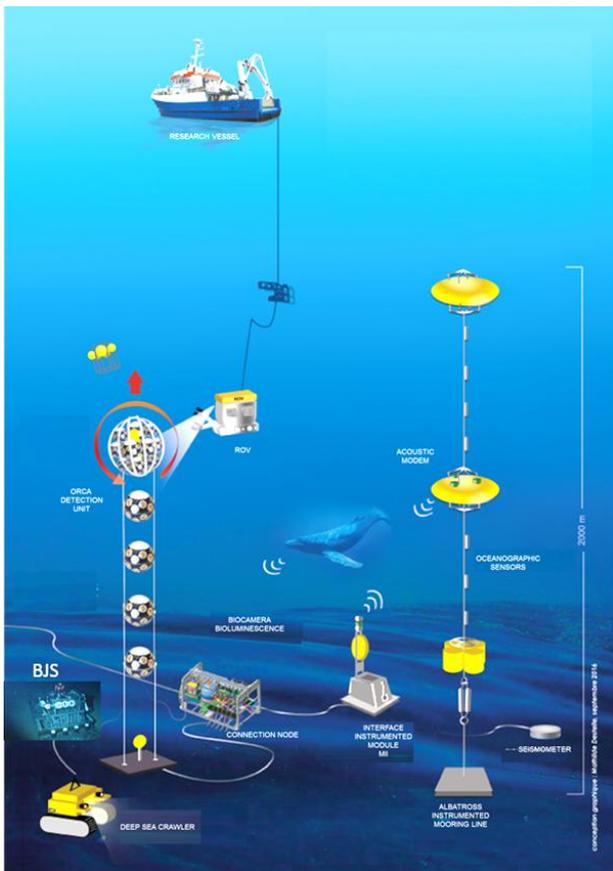


Figure 74 : Vue d'artiste de l'observatoire EMSO-KM3NeT

2.19.2. Description technique

La première phase de la construction de cet observatoire a pu être réalisée grâce à l'obtention d'un financement FEDER dénommé MEUST. Pour

cette première partie, la DT-INSU (co-porteur du projet) était en charge de la réalisation d'un module d'interface pour l'instrumentation (MII) océanographique, d'une ligne de mouillage inductive distante et d'un lien acoustique entre ces deux éléments, ainsi que la réalisation d'outillages dédiés à la mise en œuvre opérationnelle de la ligne. Le MII, piloté depuis la station terre, permet de générer les signaux d'alimentation et de communication nécessaires au bon fonctionnement en temps réel de capteurs océanographiques. Ce module intègre aussi un système de transmission de données par onde acoustique. Ce média permet de créer un point d'accès sans contact au réseau Ethernet pour la ligne de mouillage inductive déployée dans un rayon de 2 km autour du module. Cette ligne de mouillage autonome instrumente toute la colonne d'eau, les capteurs étant répartis sur un câble de 2000 mètres de longueur. Les instruments sont gérés et interrogés par un module intégrant un système informatique embarqué, une communication inductive (courant porteur sur le câble) et un modem acoustique. Les données de la ligne sont transmises à terre quotidiennement. Le fonctionnement de cet ensemble est rendu possible grâce à la mise en place, par la DT-INSU, d'une infrastructure réseau à la station terre (Institut Michel Pacha situé à La Seyne-sur-mer).

La deuxième phase de construction de l'observatoire (appelée NUMerEnv) a fait l'objet d'un financement FEDER (540 k€) et a débuté en juin 2017. Pour cette deuxième partie, l'objectif est de déployer de nouveaux systèmes fond de mer en collaboration avec de nombreux partenaires :

- L'Ifremer pour la récupération, la mise à niveau et le redéploiement de la Boîte de Jonction Scientifique (BJS) ANTARES. Cet instrument est dédié à l'interconnexion de systèmes instrumentaux pour les sciences environnementales et le test d'équipements en milieu profond.
- Le laboratoire Géosciences Azur pour la mise en place d'un sismomètre.
- L'Institut de Physique Nucléaire de Lyon pour le déploiement d'une caméra haute sensibilité dédié à l'étude de la bioluminescence.
- Le Centre de Physique de Particules de Marseille qui souhaite installer sur ce site un capteur de radioactivité.
- L'Institut Méditerranéen d'Océanographie pour la mise en place d'un robot sous-marin. Ce robot benthique piloté depuis la terre sera équipé de nombreux instruments

scientifiques pour faire des études sur les paramètres biochimiques de l'eau et des sédiments, la bioluminescence des espèces marines et la dégradation des macro-déchets.

2.19.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

La campagne de déploiement EMSO LO 2022 de la partie NUMerEnv s'est déroulée en janvier 2022. Elle a été réalisée à partir du NO « Pourquoi pas ? » avec le Nautille comme engin d'intervention sur le fond.

2.19.4. Perspectives

Depuis fin janvier 2024, une panne électrique majeure empêche le fonctionnement de la BJS et des équipements qui y sont connectés. Au moment de la rédaction de ce rapport, des opérations de récupération de la BJS et de BathyBot sont en cours de préparation. Ces instruments devraient être récupérés au cours du premier trimestre 2025.

La BJS sera expertisée et réparée pour un redéploiement courant 2026.

Une mise à niveau du robot benthique BathyBot est déjà programmée, des micro-profileurs benthiques pour la mesure de l'oxygène seront intégrés sur le robot (LSCE + DT-INSU de Gif-sur-Yvette).

L'observatoire EMSO-KM3NeT est une infrastructure ouverte à la communauté scientifique. Une demande de déploiement d'un nouveau capteur FLUICS dans le cadre de l'ANR Ironwoman a été faite en 2023. Aussi, une nouvelle plateforme appelée SIOUX (Seafloor Instrumented Open Unit for eXperimentation) est en cours de réalisation pour accueillir ce nouveau système de mesure et d'autres capteurs océanographiques. L'ensemble de ces équipements seront installés sur le fond à l'horizon 2026.



Figure 75 : Modèle 3D du module SIOUX

Présentations :

- MAPI 2022: 3rd edition of the MAPI network meetings (INSU Project Management), Centre IGESA Hyères, 13 May 2022 (<https://mapi2022.sciencesconf.org/>).
- REX on the EMSO Ligure West seabed observatory.
- Operations for the ALBATROSS line in the Ligurian western site. EMSO Workshop On Sea Operations for Ocean observatories, 26 september 2019, Toulon.
- Ocean Sciences meeting, San Diego USA, 16–21 february 2020, « BathyBot – a Deepsea Crawler to See the Unseen in the NW Mediterranean Sea ».

Communications :

- CNRS Le Journal, mai 2023, <https://lejournal.cnrs.fr/videos/bathybot-le-robot-des-profondeurs>
- Documentaire France culture, mai 2022, <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/lsd-la-serie-documentaire/a-la-recherche-de-la-lumiere-dans-les-abysse-4874084>
- Newsletter for EMSO ERIC, EMSO-WL/BathyCruise campaign, avril 2022, https://emso.eu/wp-content/uploads/2022/04/EMSO_ERIC-Newsletter_1_Apr_2022.pdf
- Présentation et démonstration de BathyBot et la bioluminescence à Espace Génération Nature de International Union for the Conservation of Nature (IUCN) à Marseille, septembre 2021.
- Cinq robots au talent fou, Journal du CNRS, juin 2020.

Personnel DT impliqué :

Carl Gojak, Karim Bernardet, Amandine Caillat, Céline Laus, Didier Louber, Karim Mahiouz, Stéphane Renouf, Lionel Scouarnec, + équipe SIP Pythéas.

Contact :

carl.gojak@cnrs.fr

2.20. End Point

Laboratoire demandeur : MIO.

Chercheur responsable : Dominique Lefèvre.

2.20.1. Objectifs scientifiques

L'oxygène dissous est un paramètre essentiel pour suivre l'évolution de la biodiversité, sa distribution et ses migrations horizontales ou verticales dans la colonne d'eau. C'est aussi un facteur clé pour comprendre le cycle du carbone océanique.

Actuellement, la méthode de référence pour mesurer des concentrations en oxygène dissous dans l'eau de mer est basée sur la méthode de Winkler qui consiste en plusieurs phases de traitements chimiques de l'échantillon d'eau de mer puis un titrage par colorimétrie.

Lors du titrage, l'échantillon doit être agité en permanence et éclairé par un faisceau parallèle de longueur d'onde 350 nm. La transmission spectrale de l'échantillon est mesurée par une photodiode pendant l'ajout progressif du réactif de dosage pour déterminer le « point final » où la transmission n'évolue plus, d'où le nom de ce projet "End Point".

Ce projet a pour objectif de moderniser le dispositif existant afin : (1) d'améliorer la précision et la stabilité des mesures, (2) de le rendre plus robuste et ergonomique pour l'utilisation à bord lors des campagnes océanographiques, (3) de standardiser l'instrument pour une diffusion plus large dans la communauté scientifique.

2.20.2. Description technique

L'analyse fonctionnelle du dispositif existant et des résultats de mesures antérieurs ont permis de rédiger le cahier des charges pour ce nouvel instrument.

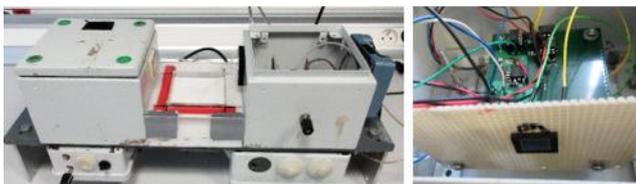


Figure 76 : Dispositif existant à moderniser à gauche et zoom sur la carte réception à droite.

Les mesures réalisées avec le dispositif existant présentait des incertitudes et des instabilités trop élevées dues à des variations de luminosité, de température et de certains composants électroniques inadaptés. De plus, ce dispositif n'était pas parfaitement étanche et l'ergonomie des moyens de réglage nécessitait d'être améliorée.

La DT-INSU a refondu tout le design mécanique et a modifié en partie l'opto-électronique afin d'assurer les fonctions suivantes :

- Mesure de transmission spectrale à 350 nm.
- Signal de sortie entre 0 et 10 V avec un bruit inférieur à 0.1%.
- Stabilité du système de mesure (alignement optique, composants électroniques, capotage).
- Gain du capteur de lumière réglable.
- Agitation de l'échantillon réglable.
- Étanchéité.
- Compacité.
- Robustesse.
- Ergonomie d'utilisation sur navires.
- Montage et démontage aisés pour maintenance.



Figure 77 : CAO de l'intérieur du nouveau dispositif End Point pour les mesures de titration par colorimétrie



Figure 78 : Photo du nouveau dispositif End Point

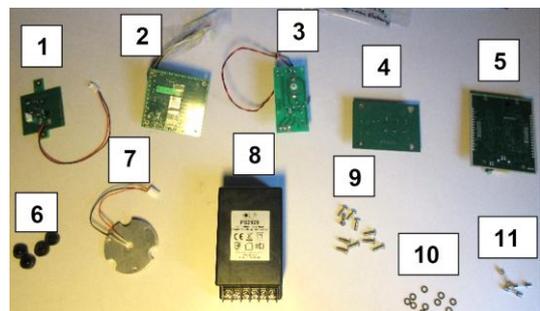


Figure 79 : Kit de maintenance pour End Point

Le nouveau design permet de remplacer aisément certaines pièces pour parer à toute panne qui pourrait survenir au cours d'une campagne. A cet

effet, un kit de maintenance a été fourni : cartes électroniques, bloc d'alimentation, visserie, pieds anti-dérapants.

Au niveau électronique, du côté émission de lumière, la LED a été déportée pour faciliter son alignement et améliorer sa stabilité thermique. Côté réception, la photodiode est désormais intégrée directement sur la carte afin de diminuer le bruit de mesure. Pour agiter la solution en cours de titrage, le moteur et l'électronique associée ont été changés afin d'avoir une plus grande amplitude de réglage. Une carte connectique a été conçue pour interfacer toutes ces cartes ainsi que la carte d'acquisition qui est restée identique au modèle existant.

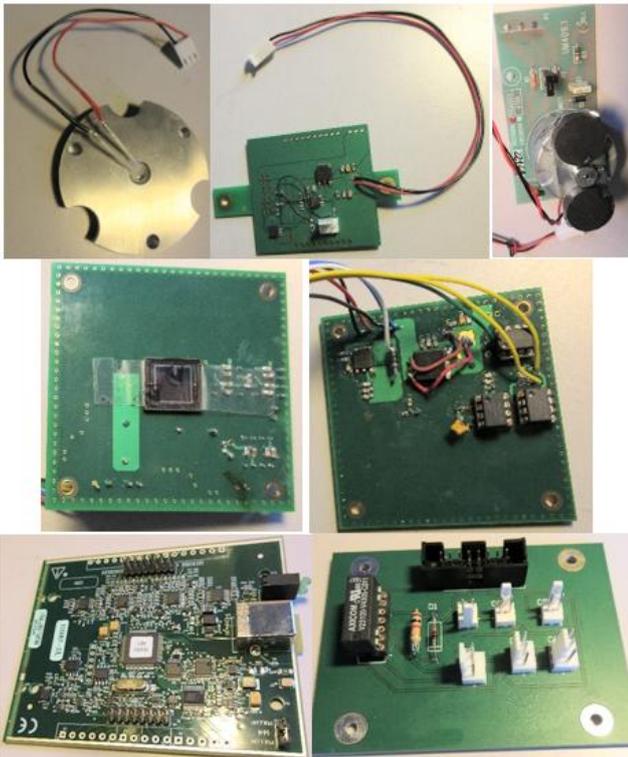


Figure 80 : En haut, LED déportée, carte réception et carte moteur. En descendant, cartes réception, d'acquisition puis connectique.

2.20.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Ce projet a été pris en charge au fil de l'eau suite à l'arrivée de trois nouvelles personnes au sein du service instrumentation de La Seyne. Une organisation en mode projet a été mise en place avec des réunions de suivi bi-hebdomadaires, des comptes-rendus et le suivi des actions associées.

Les activités réalisées par la DT sont les suivantes :

- Analyse fonctionnelle et rédaction du cahier des charges.
- Conception mécanique.

- Modification des cartes émission et réception existantes.
- Conception de la carte connectique.
- Réalisation des pièces mécaniques par usinage en PVC et par impression 3D en ABS.
- Approvisionnement des autres pièces.
- Assemblage et tests de deux prototypes puis du modèle final.
- Mesures en laboratoire avec les prototypes pour validation du nouveau concept d'instrument.
- Validation des performances du modèle final livré au printemps 2023.
- Rédaction de la documentation technique associée : procédure de montage, procédure de maintenance, manuel d'utilisation, dossier de fabrication (arbre produit, liste des composants, plans de fabrication, ...).

End Point a été utilisé sur les campagnes océanographiques suivantes :

- BioSwot.
- APERO.
- MOOSE 2023 ET 2024.
- Moose ANTARES mensuelles.



Figure 81 : End Point embarqué sur la mission BioSWOT

End Point a aussi été utilisé pour d'autres activités :

- Minke.
- EMSO Eric.
- Bain d'étalonnage.

2.20.4. Perspectives

Le dossier de fabrication fourni au demandeur est destiné à la réalisation d'autres modèles de cet instrument si le besoin apparaît dans le futur. Certaines améliorations ont été répertoriées lors de la réalisation et des tests du premier modèle, et elles seront alors implémentées. Ces modifications sont mineures, elles concernent essentiellement l'ajout de

connecteurs pour remplacer certaines interfaces soudées ainsi que des modifications d'interfaces mécaniques pour faciliter le montage.

A la suite de ce projet, la demande de soutien de la campagne 2022 (LIOM : Long term In situ Oxygen Monitoring) a été déposée pour étudier la faisabilité d'automatiser et de mariniser le dispositif complet incluant prélèvement, titration chimique et mesure optique. En 2023, 6 réunions de réflexion ont eu lieu avec les laboratoires partenaires (MIO, LIEC et LAAS) menant à une proposition de diagramme fonctionnel de l'instrument associé aux points durs techniques identifiés. Un organigramme fonctionnel RH et un plan de développement avaient aussi été ébauchés.

Cette demande de soutien a été renouvelée en 2023 pour la rédaction du cahier des charges et la réalisation d'un premier prototype de laboratoire. Elle était liée à une demande de budget CSIIT qui n'a pas été retenue par le comité scientifique, menant à une mise en veille de ce projet pour intégrer les commentaires de la CSIIT.

Personnel DT impliqué :

Amandine Caillat, Carl Gojak, Didier Louber, Karim Mahiouz, Stéphane Renouf.

Contact :

amandine.caillat@cnr.fr

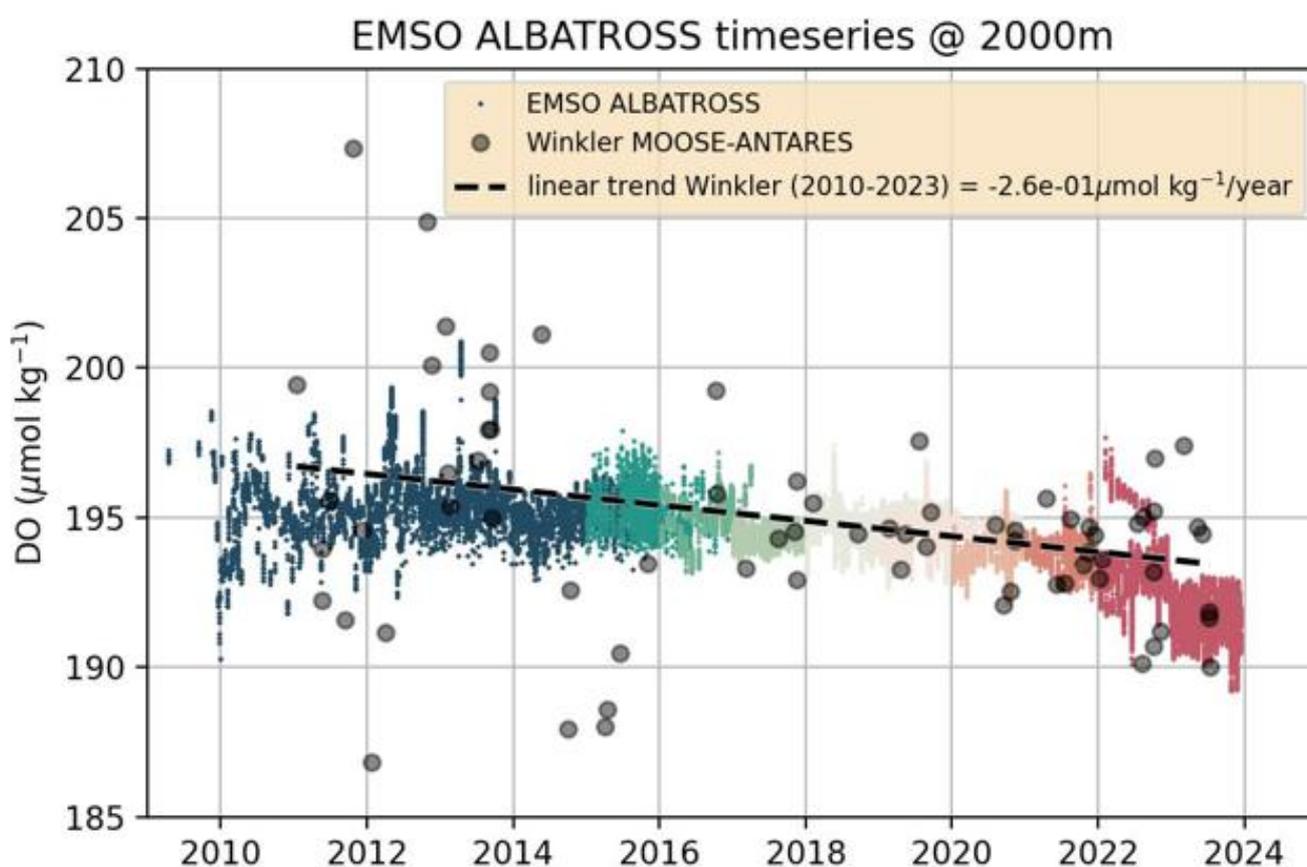


Figure 82 : Série temporelle de l'oxygène dissous sur le site EMSO LO à 2000 mètres de profondeur. Points ronds : échantillons discrets Winkler analysés par l'instrument End Point (multigénération). Pointillés : signal des capteurs immergés haute fréquence (30 min).

2.21. FOAM

From Ocean to inland waters Altimetry Monitoring.

Laboratoire demandeur : Obs. de Paris-Syrte.

Chercheur responsable : Pascal Bonnefond.

Partenaires : DT-INSU, LEGOS, OMP, LIENSs.

2.21.1. Objectifs scientifiques

Une des données fondamentales d'un site de calibration et validation (CAL/VAL) de satellite altimétrique est la connaissance du géoïde local ainsi que la possibilité d'effectuer des mesures à la verticale du satellite à l'aide de moyens légers, robustes et précis lors des campagnes de mesures (bouée GPS). Dans le cadre du projet FOAM, il a été prévu le développement de bouées GNSS fixes, le développement de marégraphes précis ainsi que d'une nappe géodésique GNSS pour la cartographie du géoïde marin. Plusieurs zones d'étude sont dédiées pour utiliser ces instruments : le site de Senetosa en Corse, les Perthuis charentais, le lac Issykul au Kirghizstan, le bassin de l'Amazone, les îles Vanuatu, les Îles Kerguelen aux alentours du marégraphe historique et des passages de satellites Jason-2&3, Sentinel-3A et SWOT.

2.21.2. Description technique

Les équipements suivants ont été développés :

Bouée GNSS statique :

Ce système a été développé pour effectuer des mesures de niveau de la surface libre de l'eau au-dessus de marégraphes (pour leur rattachement géodésique) ou sous des traces de satellites altimétriques. Une précision centimétrique était demandée, cette bouée devait être également légère, démontable et transportable par hélicoptère, avoir une autonomie de 5 jours, utilisable sur mouillage ou dérivante.

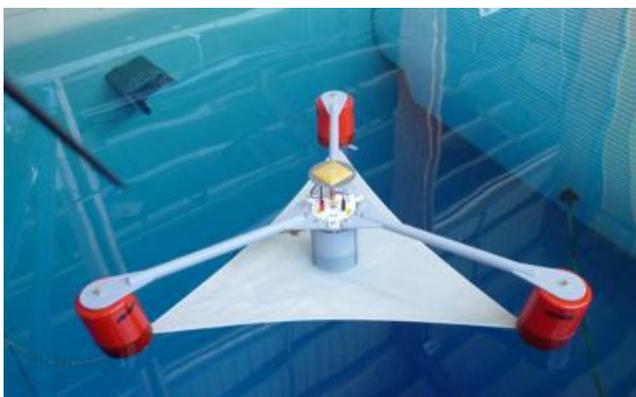


Figure 83 : Photo de la bouée statique en test en piscine

Bouée GNSS tractée CalNaGEO :

Cet instrument a été développé pour mesurer le géoïde marin et la surface libre de l'eau sur de grandes distances (plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres) en pleine mer, en lac ou fleuve, tracté par un navire. Les contraintes environnementales sont très fortes : pour la mer, houle jusqu'à 5 mètres, vent jusqu'à 40 nœuds ; pour les fleuves, forts courants, faibles profondeurs. Une précision centimétrique et une autonomie d'au moins 7 jours étaient demandées, un système léger, robuste, démontable.



Figure 84 : Mesure au large de la Nouvelle-Calédonie (04/2023) avec la nappe CalNaGEO

Afin de s'affranchir des mouvements propres d'une coque rigide, une structure souple et déformable a été conçue. Il s'agit de pains de mousse insérés dans du tissu sur lequel est fixé un cardan avec l'antenne GNSS vissée dessus. L'électronique d'acquisition et l'énergie sont positionnées dans l'annexe gonflable à l'avant du système servant également d'étrave. Deux versions sont disponibles : une version hauturière et une version côtière.



Figure 85 : Mesures sur le fleuve Maroni (11/2023) avec la nappe CalNaGEO

Marégraphes :

La DT a développé des marégraphes à base de capteur de pression à quartz.

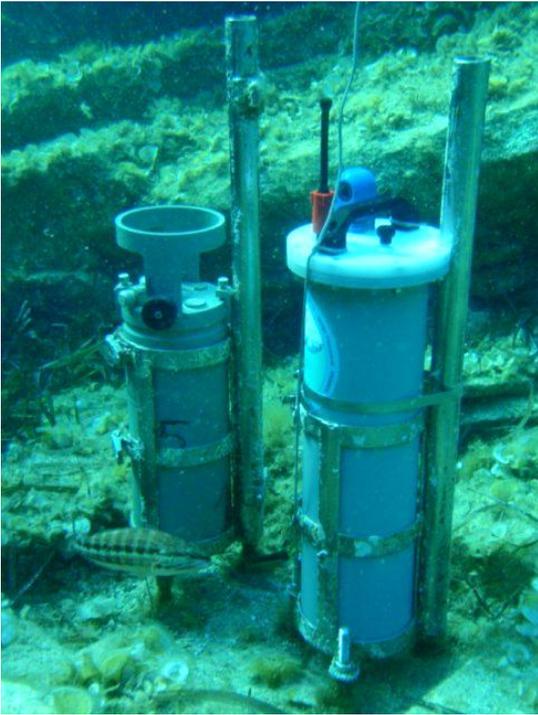


Figure 86 : Marégraphes sur le site de Senetosa (Corse)

Système Cyclopée :

Voir la fiche dédiée à ce projet.

2.21.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Bouée GNSS statique : Kerguelen, Antarctique (base Dumont d'Urville), lac Issykul (Kirghizstan).

Bouée tractée CalNaGEO en mer : Nouvelle-Calédonie, Madagascar, Californie ; en fleuve : le Maroni et l'Oyapock.

Marégraphes : 4 à Senetosa (Corse), 2 aux îles Kerguelen (mouillage).

2.21.4. Perspectives

Ces instruments sont opérationnels, des évolutions ont été ajoutées sur la nappe CalNaGEO : modification pour une utilisation en fleuve agité, panneaux solaires, ajout d'un courantomètre débitmètre. Le projet Cyclopée est une évolution de la nappe pour une utilisation avec moins de contraintes (voir la fiche dédiée).

Publications :

Poster à l'AGU de San Francisco (2014), Gloss meeting de Goa (Inde) 2016, OSTST meeting de Reston (USA) 2016, Gloss meeting de Moscou (2018).

Brevet CalNaGEO n°FR15/0180.

Personnel DT impliqué :

Christine Drezen Cédric Brachet, Lionel Fichen, Antoine Guillot, Paul Dasi, Michel Calzas.

Contact :

michel.calzas@cnr.fr

cedric.brachet@cnr.fr



Figure 87 : Mise à l'eau de la nappe CalNaGEO par l'Antea

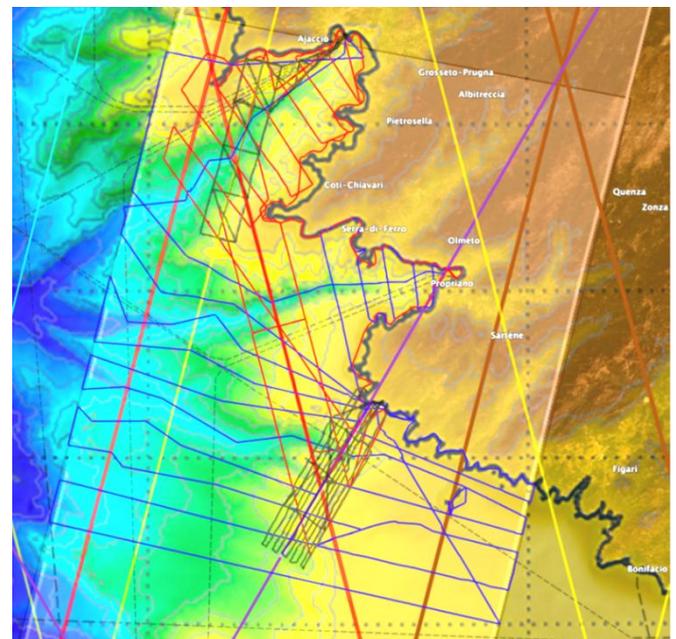


Figure 88 : Sur la côte ouest de la Corse entre Ajaccio et Bonifacio, mesure du géoïde en juin 2021 (lignes rouges) et mai 2022 (lignes bleues)

2.22. GMI

Gestion de la Maintenance des Instruments

Laboratoire demandeur : MIO.

Chercheur responsable : Christian Grenz.

2.22.1. Objectifs scientifiques

Il s'agissait de développer une application web de gestion de la maintenance d'équipements variés pour plusieurs services du MIO sur le modèle de ce qui a déjà été fait pour la maintenance des gliders. La demande initiale a été élargie pour pouvoir accueillir tous les laboratoires, les services et les projets de l'INSU.

2.22.2. Description technique

C'est une application web centralisée située sur un serveur géré par l'OSU Pythéas et hébergé sur le site de la DT à La Seyne-sur-Mer.

Le front-end (interface visible par les utilisateurs) est en javascript (framework VueJS). Le back-end (partie qui fait le lien entre l'interface et la base de données) est en PHP. Le système de gestion de base de données est PostgreSQL.

L'outil couvre les fonctionnalités suivantes.

Super-plateforme :

- Gestion des responsables de plateforme
- Gestion de la configuration commune des plateformes
- Configuration du reporting niveau super-plateforme

Plateforme :

- Gestion des utilisateurs de la plateforme
- Configuration spécifique de la plateforme
- Configuration du reporting niveau plateforme

Equipement :

- Ajout / modification / suppression d'équipement
- Inventaire
- Fiche de vie de l'équipement

Installation :

- Installation / désinstallation d'un équipement sur ou depuis un autre équipement
- Historique des installations / désinstallations

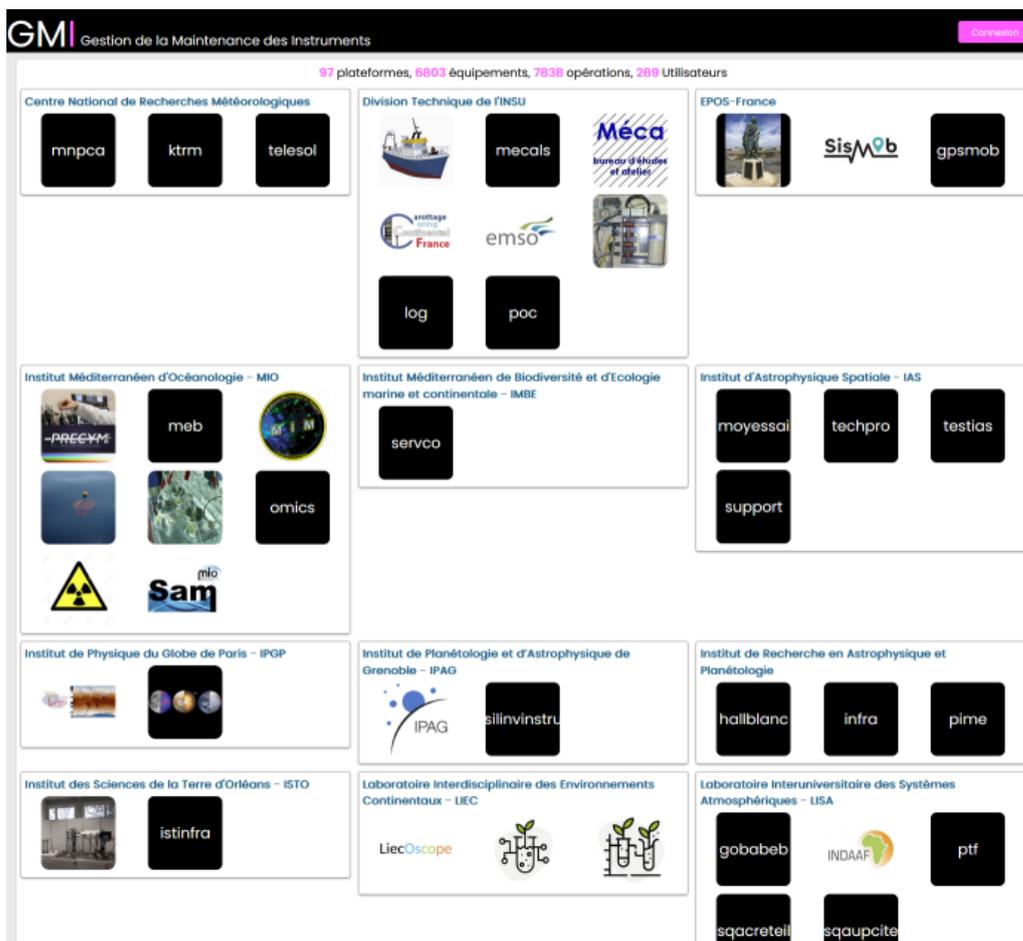


Figure 89 : Page internet d'accueil de GMI

Opération :

- Ajout / modification / suppression d'opération sur un équipement
- Historique des opérations
- Planning prévisionnel des opérations
- Alarmes de maintenance

Statut :

- Ajout / modification / suppression du statut de l'équipement (stade de vie + état + localisation)
- Historique des statuts
- Planning prévisionnel des statuts

Document :

- Ajout / suppression de document
- Lier un document à un équipement, à une opération, à un statut ou à une mission
- Historique des documents

Mission :

- Ajout / modification / suppression de mission
- Historique des missions
- Planning prévisionnel des missions

2.22.3. Activités de la DT

L'application a été développée jusqu'à mai 2022, date de sa mise en production. Elle comprenait alors 2

super-plateformes (MIO et DT-INSU) et 10 plateformes.

En 2023, une demande de soutien concernant une fonctionnalité supplémentaire a été déposée par le laboratoire ISTERRE : il s'agissait de pouvoir scanner à l'aide d'un téléphone ou d'une douchette des QRcodes ou des codes-barres et d'appliquer une nouvelle opération ou un nouveau statut de façon groupée à tous les équipements scannés.

En 2024, une nouvelle demande de soutien a été déposée par le LOV, concernant l'amélioration du module prévisionnel des missions.

En octobre 2024, l'application compte désormais 23 super-plateformes et 94 plateformes. Elle gère 6500 équipements hétérogènes, et est utilisée par 280 utilisateurs.

Personnel DT impliqué :

Quentin Conil (apprenti ingénieur 2017-2020),

Elodie Godinho.

Contact :

elodie.godinho@cnr.fr

<https://gmi.dt.insu.cnr.fr>

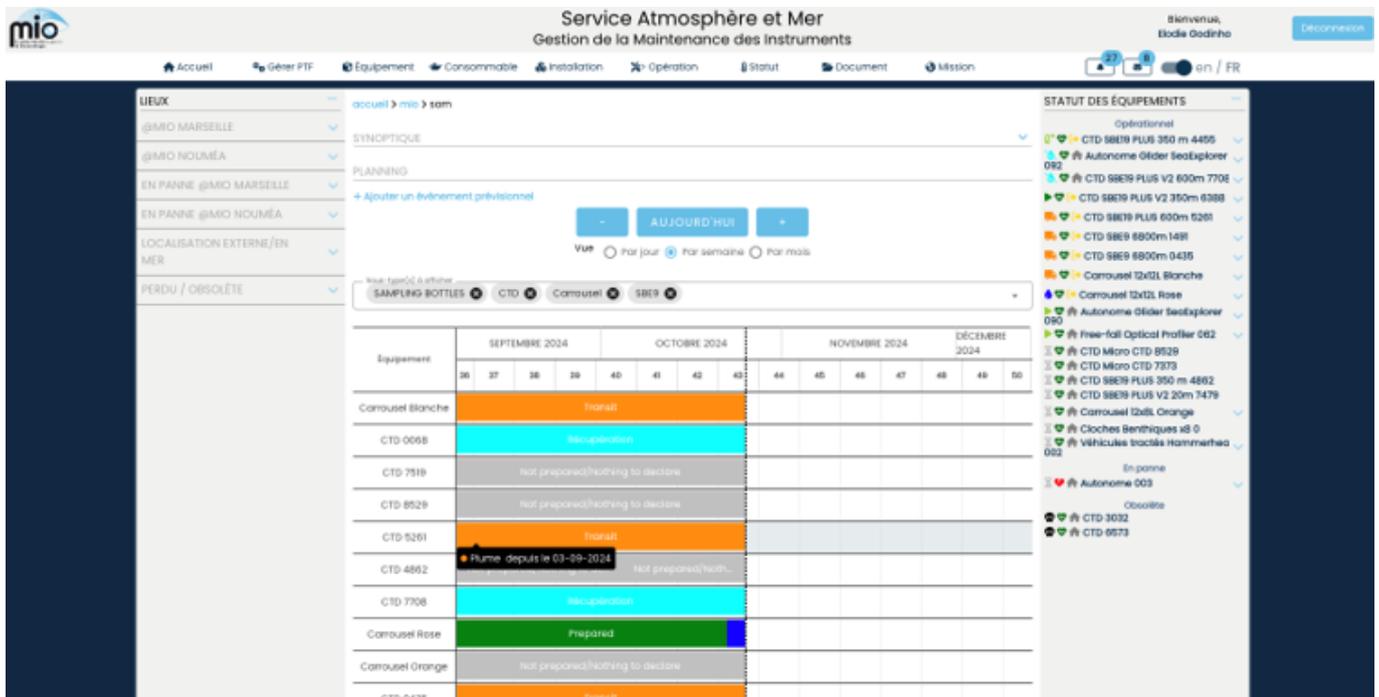


Figure 90 : Exemple de page de gestion d'instruments

2.23. Gravidrone

Laboratoire demandeur : GEO-OCEAN.

Chercheur responsable : Jérôme Ammann.

2.23.1. Objectifs scientifiques

Le projet Gravidrone a pour objectif la réalisation d'un micro-gravimètre vectoriel embarqué sur drone aérien léger (UAV). L'amélioration de la couverture gravimétrique, en particulier en milieu côtier et montagneux, permet de mieux estimer le géoïde. Une précision de 1 mGal est suffisante pour un géoïde au cm près, ce que permet déjà en milieu aquatique Gravimob (AUV) et demain en milieu terrestre/aérien Gravidrone (UAV). Ainsi, en évoluant au plus près de sources en milieu extrême, ce micro-gravimètre vectoriel mobile embarqué sur drone réduira localement le facteur d'échelle entre le satellite et la mesure sol. L'atout principal du Gravidrone est l'apport de mesures de la pesanteur à haute résolution spatiale et réparties de façon homogène quelle que soit la rugosité ou l'accessibilité du terrain.

2.23.2. Description technique



Figure 91 : Drone aérien gros porteur HyperDrelia avec une charge utile max de 7 kg

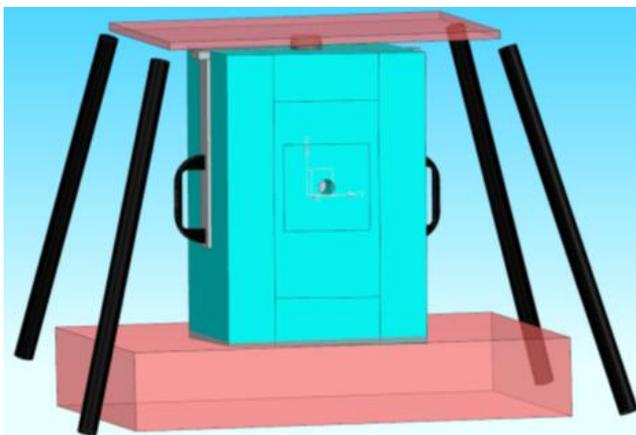


Figure 92 : Idée de boîtier isolant, placé sous le drone, permettant d'intégrer les capteurs et l'électronique de gestion

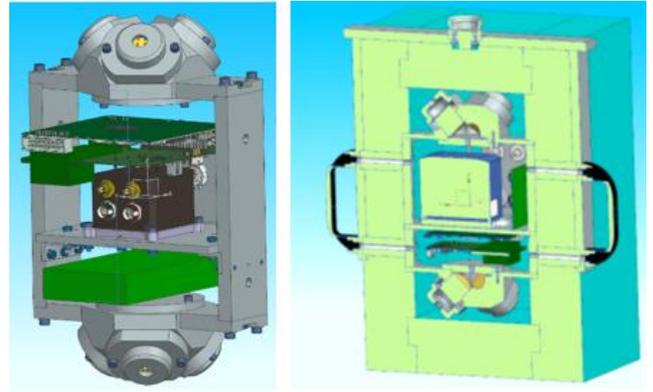


Figure 93 : Vue 3D de l'implantation en interne dans le boîtier

2.23.3. Activités de la DT

Les ingénieurs de la DT travaillent sur la miniaturisation du gravimètre et la stabilisation en température des capteurs de type accéléromètre : 2 ingénieurs en mécanique pour le design et la conception mécanique, et 1 ingénieur en instrumentation pour le design électronique.

Pour l'électronique, Il faut concevoir un datalogger compact capable d'enregistrer les données de 6 accéléromètres. Les connaissances acquises sur les projets Hydroctopus puis Acougaz autour d'une carte microcontrôleur STM32 développée avec l'IPGP sont réutilisées ici aussi. Le développement et la conception d'une carte ADC spécifique à l'acquisition de 6 accéléromètres est en cours pour compléter la chaîne d'acquisition.

Du point de vue mécanique, il faut que le système complet soit de taille réduite afin de tenir sous le drone porteur, d'un poids limité (charge utile max 7 kg) et surtout permettant une très bonne stabilité en température (au 1/100ème de degré) pendant la durée des vols (de l'ordre de 15 à 20 min). Les études ont commencé et quelques propositions intéressantes sont en cours de test.

Personnel DT impliqué :

Hervé Barrois, Alexandre Blin, Aurélien Cléménçon.

Contact :

herve.barrois@cnsr.fr

2.24. HPSU

Laboratoire demandeur : MIO UMR 7294.

Chercheurs : Marc Garel, Anaïs Cario, Samuel Marre et Christian Tamburini.

2.24.1. Objectifs scientifiques

Bien que la mer profonde soit le plus grand écosystème de l'océan, avec le plus grand réservoir de microbes, elle n'a toujours pas été échantillonnée (moins de 0,01%) ou étudiée de manière adéquate dans des conditions in situ. L'objectif de HPSU est de prélever des micro-organismes abyssaux et leur environnement, jusqu'à 6000 m de profondeur, tout en préservant les conditions de pression, et autant que faire se peut, de température en vue de leur analyse.

2.24.2. Description technique

Les dispositifs HPSU (High Pressure Sampling Unit) sont actuellement équipés de compensateurs de pression passifs, à savoir une vessie gonflée à l'air (400 bars) qui compense en partie la baisse de pression durant la remontée vers la surface, et qui s'avère inefficace contre les augmentations de pression dues à la température extérieure notamment. De plus ils sont une source de dangers pour les opérateurs de par la grande quantité d'énergie emmagasinée.

Pour répondre à cette demande, la DT a présenté une solution de régulation PID (compensation active) de la pression. Constituée d'un ensemble piston/moteur, cette solution propose de comprimer et décompresser l'échantillon de manière à conserver la pression in situ à ± 5 bars.

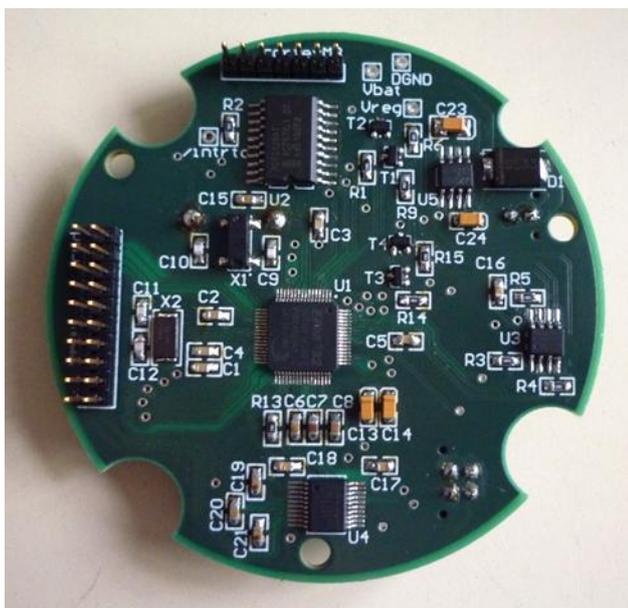


Figure 94 : Carte mère HPSU

Le tout est piloté par un kit de cartes électroniques qui assurera également la lecture des capteurs de pression et de température. L'ensemble est constitué d'une carte mère à microcontrôleur ARM Cortex qui embarque le code écrit en C avec les bibliothèques multitâches FreeRTOS. Chaque fonctionnalité est codée dans une tâche (lecture des capteurs de pression et de température, régulation PID, activation du moteur/piston, paramètres technologiques...) pour un fonctionnement en parallèle, et d'une carte d'application qui dispose des interfaces avec la carte moteur, les capteurs de pression analogiques, la thermistance... Les photos ci-jointes illustrent la carte mère et le kit des 2 cartes circulaires aux dimensions du caisson adaptable sur une rosette CTD.

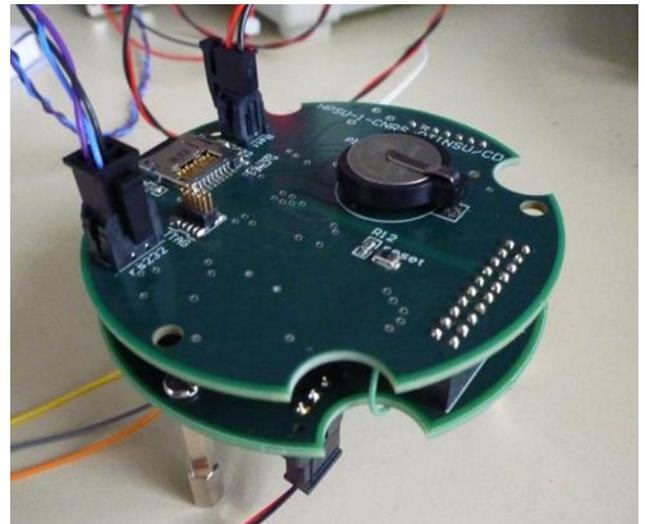


Figure 95 : Kit HPSU

Enfin, une veille technologique attentive a été apportée au choix du matériau, 2 alliages de titane ont été sélectionnés, le Ti 17 et le Ti 6246, pour leurs caractéristiques mécaniques à 20°C proches d'un superalliage ($Re\ 0,2\% > 1000\ MPa$). Ce choix s'explique également par le besoin de légèreté du système en vue de son déploiement par ROV.

Toujours dans le même souci d'allègement de la structure, la suppression de la bouteille atmosphérique est à l'étude.

2.24.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

L'étude mécanique a été entièrement réalisée, hors remplacement de la vanne d'ouverture, et chiffrée afin de pouvoir répondre à l'appel d'offre ITT.

Un kit de cartes électroniques prototypes de pilotage a été fabriqué. Il comprend la carte mère à microcontrôleur et la carte d'application de gestion des diverses interfaces. Un squelette de programme multitâche a été écrit.



Figure 96 : Etude mécanique de HPSU, vue d'ensemble du régulateur et d'une bouteille d'échantillonnage

Un banc d'essai pour simuler les variations de pression est en cours de développement. Il va permettre d'anticiper le comportement du système sous pression afin de prédimensionner les facteurs PID.

Le projet HPSU est lauréat des appels d'offre IIT 2025, grâce notamment à sa transdisciplinarité affichée avec l'implication d'équipes issues de CNRS Chimie et CNRS Terre&Univers.

2.24.4. Perspectives

Mener à bien et réaliser le suivi de fabrication du prototype, ainsi que les tests nécessaires, afin de le faire mûrir pour atteindre la TRL 6 « Qualification du système en mer » en fin d'année 2025.

Personnel DT impliqué :

Cédric Brachet, Christine Drezen, Antoine Guillot.

Contact :

cedric.brachet@cnsr.fr

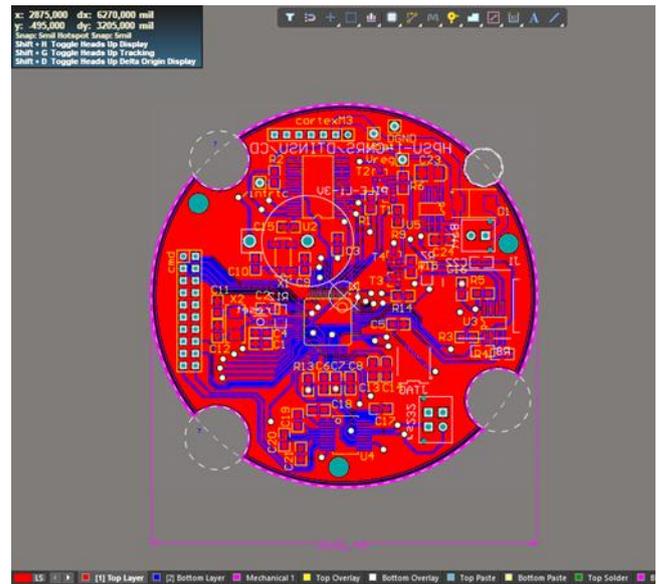


Figure 97 : Schéma PCB de la carte mère sur le logiciel Altium Designer

2.25. HRBCP

Laboratoire demandeur : LOV.

Chercheur responsable : Leo Lacour.

2.25.1. Objectifs scientifiques

Le projet HRBCP (High Resolution Bottom Carbon Pump) s'articule autour de 3 objectifs :

- Quantifier le flux de carbone à 1000 mètres de profondeur et évaluer sa variabilité saisonnière.
- Identifier les événements extrêmes d'export de carbone et quantifier leur contribution relative au bilan annuel.
- Evaluer la variabilité événementielle et saisonnière de la morphologie des particules, ainsi que le lien avec leur vitesse de chute et l'intensité du flux de carbone à 1000 m.

Pour cela, un ensemble de capteurs bio-optiques et d'imagerie sont déployés sur le site Dyfamed (Méditerranée) à 1000 m de profondeur. Ces instruments fournissent des indicateurs bio-optiques du flux de carbone à haute résolution temporelle (10 à 30 minutes) pendant des périodes de 12 mois.

2.25.2. Description technique

Le développement a consisté en l'adaptation d'une carte mère à microcontrôleur déjà développée par la DT Brest pour des marégraphes, à une carte d'application spécifique conçue pour HRBCP.



Figure 98 : Carte d'application en 3D

Le travail effectué à partir du data logger faible consommation permet de gérer le pilotage des deux capteurs fluorimètres (ECO triplet) et transmissiomètre optique (C-ROVER). La carte fille d'application spécifique a été élaborée en utilisant le logiciel Altium Designer. Elle comporte des alimentations et des drivers de communication isolés. La figure ci-dessus illustre la carte fille d'application en 3D.

Le logiciel a été écrit en langage C (IAR) avec les bibliothèques de l'OS embarqué freeRTOS pour un fonctionnement multitâche (toutes les mesures des capteurs se font simultanément à la fréquence de 1 Hz). Il y a un menu utilisateur et de debug pour la configuration, la mise à l'heure, et le test de fonctionnement des capteurs et des différents éléments de la carte. Le déclenchement des mesures se fait sur signal d'interruption d'une RTC externe (faible dérive 1 ppm/an). Le mode de veille EM2 permet de limiter la consommation à 180 μ A. La consommation totale est de 265 mA en échantillonnage capteurs. Le programme permet de lire n (configurable entre 1 et 20) trames par capteur, de mesurer des paramètres technologiques (température, tension de batterie), de stocker localement des données sur microSD, et d'activer une pompe tous les 5 jours pendant 1 minute pour le nettoyage des optiques du transmissiomètre.

La consommation moyenne est de 2,15 mA.h sous 12V pour un cycle d'acquisition de 10 trames par capteur toutes les 30 minutes, soit une autonomie de 619 jours avec un pack type 4S2P lithium de capacité 32A (ce qui est largement suffisant pour l'autonomie visée de 1 an). La photo suivante illustre le kit de cartes développées par la DT montées sur le pack de piles Li.



Figure 99 : Intégration des cartes électroniques et des piles

Le LOV s'est chargé de l'énergie et de l'intégration de l'électronique dans un cylindre étanche et résistant à une pression de 600 bar. Ce caisson étanche ainsi que les capteurs ont été assemblés sur un piège à particules qui est équipé d'un capteur UVP (Underwater Vision Profiler). Le piège à particules, HRBCP et le capteur UVP mesurent des caractéristiques complémentaires du flux de carbone.

2.25.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Une première mission à la mer a eu lieu en août 2023 sur le site Dyfamed en Méditerranée. Au relevage à l'été 2024, les scientifiques ont récupéré un an de données acquises par l'électronique réalisée à la DT Brest. La dernière figure montre les données brutes

enregistrées par les 3 instruments au cours de l'année.

2.25.4. Perspectives

Récupération du matériel en juillet 2025. Celui-ci sera remis en état. La poursuite des campagnes de mesures se fera à partir du prochain déploiement en été 2026.



Figure 100 : Mise à l'eau du mouillage

Personnel DT impliqué :

Christine Drezen, Christophe Penkerc'h

Contact :

christine.drezen@cnr.fr

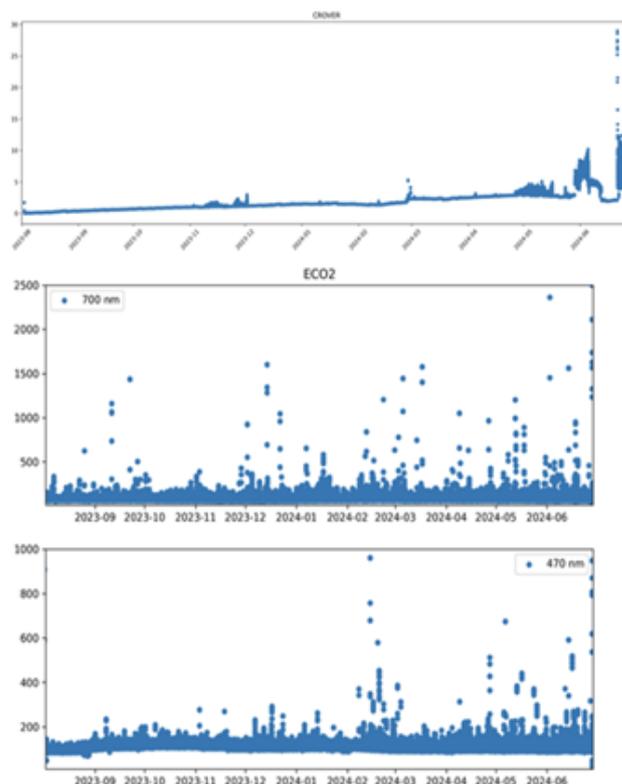


Figure 101 : Données du transmissiomètre CROVER et du fluorimètre ECO de juillet 2023 à juin 2024

2.26. Hydroctopus

Laboratoire demandeur : IPGP.

Chercheurs : Romuald Daniel.

2.26.1. Objectifs scientifiques

L'Hydroctopus se compose d'une station sous-marine équipée d'un hydrophone à demeure et de 3 modules transportables, composés chacun d'un hydrophone relié à la station par 100 m de câble. Hydroctopus été déployé en début septembre 2016 autour du site hydrothermal de Tour Eiffel, par 1700 m de fond sur l'observatoire EMSO-Açores. L'ensemble Hydroctopus est connecté à une autre station (SeaMon, Sea Monitoring node) sur laquelle se trouve l'alimentation des 4 capteurs et l'électronique d'acquisition. Cette seconde station porte également le système de communication de données par acoustique opéré par l'Ifremer (système COSTOF). Dans le déploiement actuel, Hydroctopus n'est pas connecté au système COSTOF et ne communique donc pas de données avec la surface et le serveur EMSO-France. L'objectif est de développer une nouvelle électronique permettant une fréquence de mesure encore plus élevée (jusqu'à 1000 échantillons par seconde contre 250 actuellement), la connexion au COSTOF, et la transmission en temps quasi réel (toutes les 6h) de détections d'évènements sismiques.

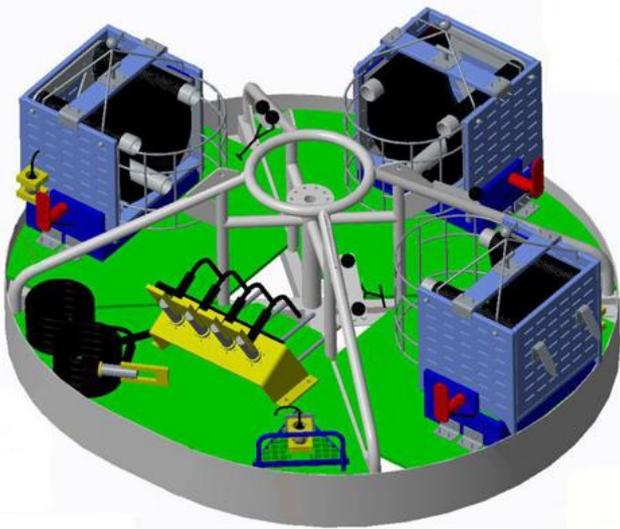


Figure 102 : Système Hydroctopus avec les 3 hydrophones en position non déployés

Le système d'acquisition du prototype en service sur le chantier EMSO-Açores est un système commercial adapté aux hydrophones. Un conteneur supplémentaire de batteries a été ajouté pour maintenir l'autonomie de l'acquisition à 250 échantillons par seconde pendant un an. L'objectif final, à savoir un système de détection d'évènement

sismique connecté en temps semi-réel et à plus haute fréquence, n'est pas atteint. Pour cela il faut développer un nouveau système d'acquisition électronique. Ce système conçu autour des hydrophones possèdera une acquisition des données à haute fréquence (1k de données par seconde sur 4 voies) pour une très faible consommation (moins de 500 mW).

2.26.2. Description technique

Le développement de l'ensemble électronique et informatique est en 3 phase :

- Optimisation de la chaîne d'acquisition des signaux hydrophones en terme de vitesse et de consommation d'énergie : le système actuel est conçu autour d'un processeur 68K, pas assez rapide et trop consommant pour des fréquences d'acquisition au-delà de 250 échantillons/seconde.
- Intégration du système de communication avec le COSTOF : cette partie existe déjà sur un autre appareil opéré par l'IPGP en fonctionnement sur l'observatoire EMSO-Açores (sismomètre fond de mer). Il faudra l'adapter à la mesure de micro-sismicité haute fréquence (transmission des temps d'arrivée d'évènements sur les 4 voies, transmission de séries temporelles).
- Intégration du système de détection d'évènement : une carte à base d'un microcontrôleur basse consommation a été développée pour la détection sur une voie d'un géophone à 62,5 échantillons/seconde. Une optimisation du software et l'extension à une détection sur 4 voies à 1k échantillons/seconde sont à faire.

2.26.3. Activités de la DT

La DT a en charge la conception et réalisation d'un nouveau datalogger, un ensemble de cartes électroniques permettant les acquisitions de données et le bon cadencement/gestion du système en autonomie pendant les campagnes de mesures. Pour simplifier les développements, et avec une optique d'avoir un système open source pour une ouverture à la communauté scientifique, l'utilisation de carte Raspberry Pi 3 et Arduino Uno est retenu.

Personnel DT impliqué :

Hervé Barrois.

Contact :

herve.barrois@cnr.fr

2.27. HYMENET

Laboratoire demandeur : IPGP.

Chercheurs : J-P Frangi, X Chavanne.

2.27.1. Objectifs scientifiques

L'objectif est la réalisation d'un démonstrateur de réseau sans fil de capteurs autonomes pour le suivi in situ des profils verticaux d'humidité, salinité et température des sols et leur évolution au cours du temps. Ces réseaux serviront à mieux mesurer et comprendre le rôle des flux hydriques et énergétiques des sols en capturant les effets des variabilités spatio-temporelles à échelle d'un bassin versant et sur au moins un an.

2.27.2. Description technique

La demande portait sur la réalisation d'une carte de contrôle et communication basse consommation. L'objectif de cette carte était de prendre en charge le pilotage des opérations d'acquisition, de mise sous tension, de prétraitement des signaux, de la conversion, la sauvegarde et la transmission radio des mesures en utilisant le protocole Lorawan.



Figure 103 : Carte proto et carte de mesure de conductivité

2.27.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Le prototype a été testé dans un premier temps sur le toit du laboratoire puis sur le site de Dignes les Bains.

Une 2ème version du capteur a été développée avec un microcontrôleur intégrant une fonction Lorawan et équipée de 5 capteurs de mesure de température du sol.

Le matériel a été livré au laboratoire avant le départ de Christophe Guillerm de la DT.

Personnel DT impliqué :

Christophe Guillerm.

Contact :

Antoine Guillot

antoine.guillot@cncrs.fr

2.28. IGSN

Demandeur : Direction de l'INSU.

Chercheur responsable : Javier Escartin (ENS).

2.28.1. Objectifs scientifiques

La demande concernait la mise en place d'un service IGSN (International Geo Sample Number) pour le CNRS. Les IGSNs sont des identifiants uniques pour des échantillons géologiques et dérivés. Le CNRS devient un Allocating Agent au sein de l'organisation. Les rôles et devoirs d'un Allocating Agent sont les suivants :

- Enregistrer les IGSNs au niveau plus haut et exploiter les services d'enregistrement.
- Demander des espaces de nom de premier niveau et affecter des sous-espaces de nom à ses clients (IPGP, Cyber carothèque, ...).
- Fournir des interfaces OAI-PMH pour la collecte de métadonnées.
- S'assurer des bonnes pratiques pour l'allocation, la syntaxe et les métadonnées IGSN.
- Assurer un accès persistant à l'enregistrement de métadonnées de l'IGSN enregistré et au catalogue d'échantillons de l'Allocating Agent.
- Assurer l'unicité du numéro IGSN alloué.
- Assurer le support pour les utilisateurs.
- Participer à l'Assemblée générale de l'IGSN.

Le service accessible à l'url <https://www.igsn.cnrs.fr> est en production depuis 2021. Il est hébergé à la DT-

INSU sur une infrastructure informatique gérée par l'OSU Pythéas. Les laboratoires utilisateurs sont actuellement le CEREGE, l'IPGP, la Cyber carothèque nationale, le Laboratoire Magmas et Volcans, l'IUEM Brest, le LSCE, le laboratoire de planétologie et géosciences et Géosciences Montpellier. Actuellement, il compte 19762 codes IGSN.

2.28.2. Description technique

En 2018, un code source développé et utilisé par le CSIRO (l'organisme gouvernemental australien pour la recherche scientifique) a été récupéré et adapté pour notre besoin. Le logiciel étant peu documenté, nous avons reçu du soutien de l'ANDS (Australian National Data Service) au démarrage du projet.

En 2022, il y a eu une refonte de l'application pour utiliser les technologies utilisées dans le service. Les technologies utilisées à présent sont :

- Framework VueJS pour le front-end.
- Framework Django avec son module REST pour le back-end.
- PostgreSQL, système de gestion de base de données relationnelle et objet.

2.28.3. Activités de la DT

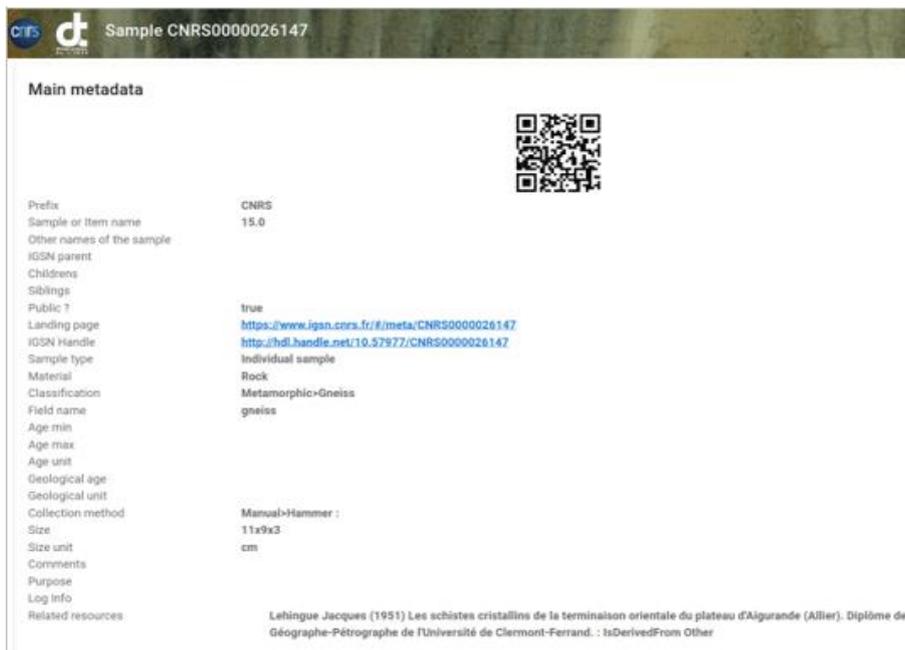
Depuis 2018, la DT assure la maintenance et les évolutions du système.

Personnel DT impliqué :

Karim Bernardet, Elodie Godinho.

Contact :

karim.bernardet@cnrs.fr



Sample CNRS0000026147

Main metadata

Prefix	CNRS
Sample or item name	15.0
Other names of the sample	
IGSN parent	
Childrens	
Siblings	
Public ?	true
Landing page	https://www.igsn.cnrs.fr/#/meta/CNRS0000026147
IGSN handle	http://hdl.handle.net/10.57977/CNRS0000026147
Sample type	Individual sample
Material	Rock
Classification	Metamorphic+Gneiss
Field name	gneiss
Age min	
Age max	
Age unit	
Geological age	
Geological unit	
Collection method	Manual+Hammer :
Size	11x9x3
Size unit	cm
Comments	
Purpose	
Log Info	
Related resources	

Lehingue Jacques (1951) Les schistes cristallins de la terminaison orientale du plateau d'Aigurande (Allier). Diplôme de Géographe-Pétrographe de l'Université de Clermont-Ferrand. : IsDerivedFrom Other

Figure 104 : Exemple d'enregistrement sur le site du service IGSN

2.29. IODA6000

Laboratoire demandeur : MIO.

Chercheur responsable : Dominique Lefèvre.

2.29.1. Objectifs scientifiques

Dans le cadre de divers projets (ANR POTES, programme européen FP7 EuroSITES, APO, OPERA (INSU), AAMIS (université de la Méditerranée), un système de mesure in situ de la re-minéralisation de la matière organique dans les zone épi, méso et bathypélagique a été développé dans le cadre d'une collaboration étroite avec le Centre de Physique des Particules de Marseille : IODA6000 (In situ Oxygen Dynamic Auto-sampler). Cet équipement unique est innovant pour le développement technologique (mécanique, électronique et alimentation) sous pression (6000 m de profondeur).

2.29.2. Description technique

IODA6000 est un incubateur in situ qui permet de mesurer la dynamique de la concentration d'oxygène. La concentration d'oxygène est mesurée par une optode, un principe de mesure optique capable de mesurer de faibles variations de concentration).

La version originale se compose d'une cuve d'incubation en polycarbonate dont l'étanchéité est faite par 2 plaques de silicone Versilic. Deux optodes permettent de mesurer la concentration d'O₂ in situ, et la dynamique de la concentration d'O₂ à l'intérieur de la chambre d'incubation.

L'ensemble de l'appareil est entièrement automatisé ce qui le rend autonome avec la possibilité de modifier les paramètres d'incubation (temps d'incubation, fréquence de mesure d'oxygène et temps d'ouverture pour renouveler l'eau) en fonction de la profondeur d'immersion avant le déploiement. Généralement, le temps d'incubation en surface (entre 0 et 500 m) est de 24h. Cette durée de cycle suffit à mettre en évidence la dynamique de la concentration d'oxygène (production et consommation), tandis qu'au-delà de 500 m, plusieurs jours sont nécessaires (5 jours pour 2000 m de profondeur).

2.29.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

- Validation lors d'essais en mer petit fond (20 m en baie de Marseille) et grand fond (2400 m sur le site EMSO Ligure Ouest) au cours de l'année 2022.
- Réalisation de trois instruments pour la campagne océanographique APERO au cours de l'année 2023.

- Participation à la campagne APERO.
- Déploiement de deux instruments IODA6000 sur le projet HOPE en Nouvelle Calédonie. Les instruments sont déployés pour une période de deux ans (2024 et 2025).

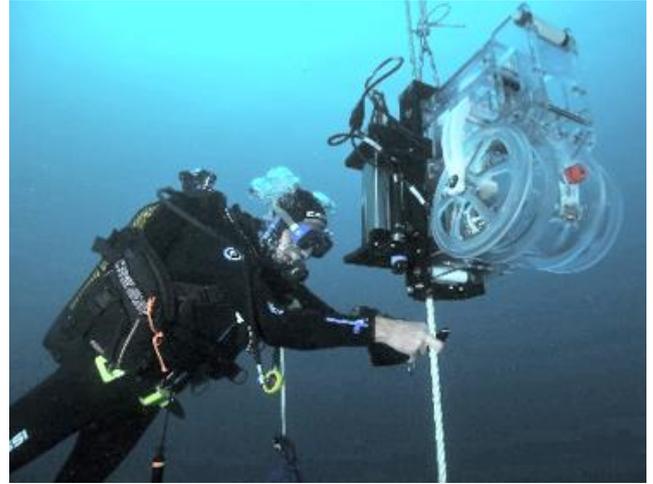


Figure 105 : Essai petit fond en baie de Marseille



Figure 106 : Déploiement lors de la campagne HOPE

2.29.4. Perspectives

En 2025, une communication inductive sera intégrée sur l'instrument. Ceci permettra de déployer un instrument sur la ligne de mouillage ALBATROSS installée sur l'observatoire EMSO Ligure Ouest.

Personnel DT impliqué :

Carl Gojak, Karim Bernardet, Céline Laus, Karim Mahiouz.

Contact :

carl.gojak@cnr.fr

2.30. IONTRAP

Laboratoire demandeur : ISTO.

Chercheur responsable : Manuel Moreira.

2.30.1. Objectifs scientifiques

Le nouveau spectromètre de masse à piège ionique a été développé pour analyser les gaz rares, notamment l'hélium et le néon, dans des contextes géologiques et environnementaux. Son objectif principal est de permettre des mesures rapides, sensibles et compactes, adaptées à des environnements contraints comme le terrain ou les installations mobiles. Il est particulièrement pertinent pour le suivi des émanations de gaz dans les sols, par exemple dans des zones volcaniques comme le Massif Central, où les variations de concentration en hélium peuvent indiquer des phénomènes géodynamiques ou volcaniques profonds. Ce dispositif permet aussi de tester des protocoles de diffusion de l'hélium à travers des fenêtres en silice fondue, afin d'évaluer les variations de flux en fonction de la pression partielle du gaz et de la température, avec l'objectif d'améliorer la compréhension des transferts de gaz dans l'environnement.

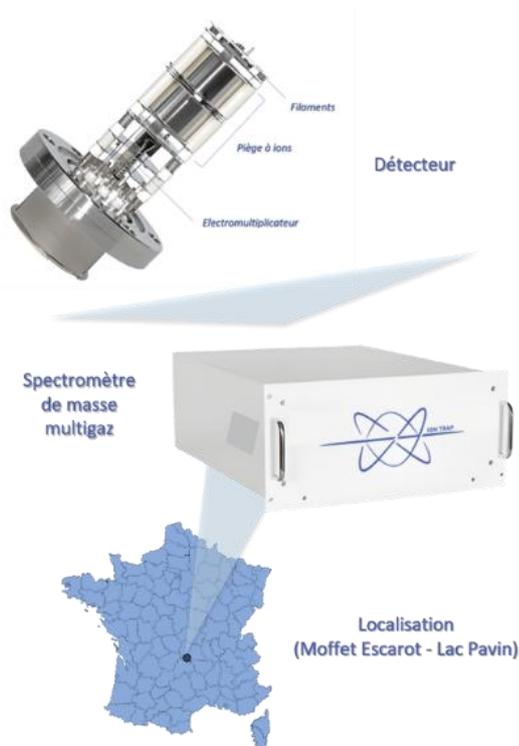


Figure 107 : Principe du projet IONTRAP

2.30.2. Description technique

L'instrument repose sur un piège ionique de type « Autoresonant Ion Trap Mass Spectrometer ». Il utilise un filament pour produire des ions par impact électronique, qui sont ensuite piégés dans une cavité entre deux cages métalliques séparées par une

plaque soumise à une tension continue (1000 V) et une tension RF de faible amplitude (0,5 V). Le balayage de masse est réalisé en modifiant la fréquence du signal RF, ce qui permet d'éjecter les ions selon leur rapport masse/charge. Ce système, très compact (15 cm de long, 7 cm de diamètre, quelques centaines de grammes), consomme environ 24 W. Il intègre une chaîne d'électronique embarquée légère avec un microcontrôleur (Teensy 4.1) pour le comptage d'impulsions, un préamplificateur (Ortec 9326), un discriminateur rapide (TD2000), un générateur de signal RF (Waveform Click), ainsi qu'un système de haute tension pour le multiplicateur d'électrons (XP-Power A30N-5). L'ensemble est piloté via un LattePanda, avec transmission des données par module 4G et visualisation sur une plateforme ThingsBoard.

2.30.3. Activités de la DT

Depuis le lancement du projet, plusieurs actions clés ont été menées par la DT, notamment la finalisation du Cahier des Charges Fonctionnelles en décembre 2024 et la tenue de réunions bimensuelles assurant un suivi régulier des avancements. Un soutien technique actif a également été apporté au développement du prototype en laboratoire. La DT a joué un rôle central dans l'identification des tâches entre les partenaires (ISTO, LPC2E), permettant une répartition claire des responsabilités. Cependant, certaines tâches ont été retardées, comme la réalisation de l'arbre produit, décalée au premier trimestre 2025 en raison du départ du coordinateur côté DT, suivi de son remplacement en interne. Malgré ces aléas, l'identification des modules à mettre en œuvre a pu être effectuée après les tests unitaires réalisés à l'ISTO. L'analyse en vue du renouvellement de la demande a conduit à un renforcement de la coordination entre la gestion de projet et l'ingénierie système, ainsi qu'au transfert de toutes les informations électroniques du prototype vers l'équipe impliquant un apprenti ingénieur, avec un objectif de montée en compétence fixé à juin 2025. Des travaux sur la séquence (intégration du LattePanda), les aspects thermiques, ainsi que les études mécaniques pour le boîtier sont également en cours, témoignant d'une planification structurée et progressive portée par la DT.

Personnel DT impliqué :

Johann Gironnet, Gabriel Degret, Nadir Amarouche, Christophe Penkerch, Tiago Amorim Rodrigues, Christophe Berthod, Labasse Berthe.

Contact :

johann.gironnet@cnsr.fr

2.31. JUICE-SWI

Laboratoires associés : Max Planck Institute for Solar System Research (MPS, Göttingen), CNES (Toulouse), Observatoire de Paris-LERMA (Paris).

Chercheur responsable : Alain Maestrini.

2.31.1. Objectifs scientifiques

JUICE (Jupiter Icy Moons Explorer) est une mission spatiale de l'ESA vers le système de Jupiter. Il s'agit d'une mission de classe L du programme Cosmic Vision pour la décennie 2015-2025.

Les objectifs scientifiques principaux de l'instrument SWI (Sub-millimetre Wave Instrument) concernent l'atmosphère de Jupiter. SWI est particulièrement adapté à l'étude de la stratosphère, la région qui joint l'atmosphère profonde, largement gouvernée par la source d'énergie interne, à l'atmosphère supérieure, où les effets de l'apport extérieur d'énergie lumineuse et particulaire sont dominants. Le premier objectif de SWI sera la mesure directe et simultanée de profils de température et de profils de vents ; ces derniers seront déterminés par décalage Doppler sur plusieurs raies moléculaires, notamment CH₄ et H₂O. Le deuxième objectif de SWI concernera la chimie de la stratosphère et son couplage avec les phénomènes de transport.

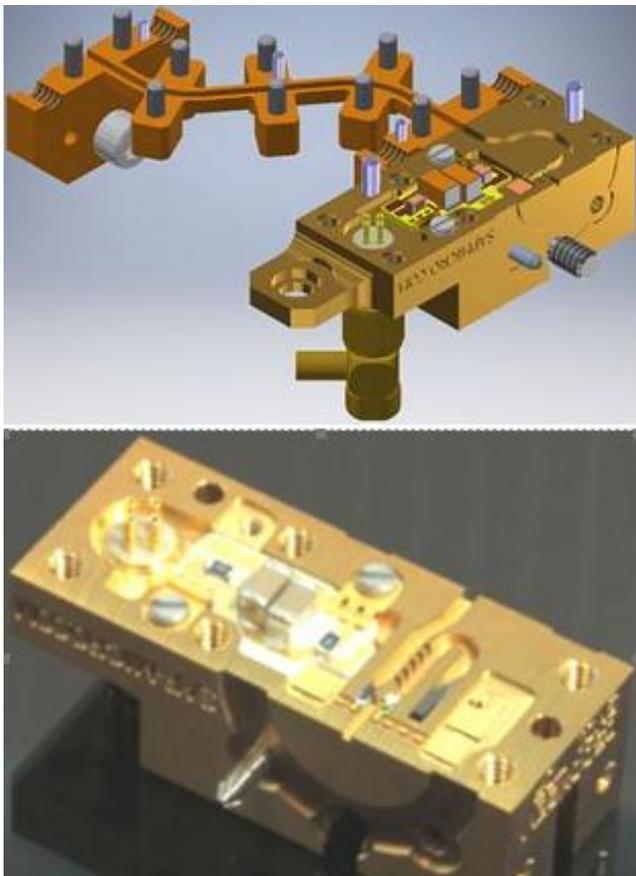


Figure 108 : Réalisation du module D300X

Pour réaliser ces objectifs scientifiques, l'instrument est proposé sur une base de deux bandes de fréquence autour de 600 et 1200 GHz. La bande de fréquence la plus haute est surtout adaptée à l'étude du méthane (raie à 1256 GHz) et de l'eau (à 1097 GHz), les autres espèces mineures seront quant à elles observées à 540-640 GHz.

2.31.2. Description technique

La Division Technique de l'INSU a été chargée de la conception mécanique, structurelle et thermique de la contribution française des 2 chaînes de fréquence autour de 600 GHz et de 1200 GHz.

2.31.3. Activités de la DT

Les 2 modèles de vol, ainsi que les « spares » ont été livrés :

- En février 2021 pour le canal 600 GHz (D300X1).
- En octobre 2021 pour le canal 1200 GHz (D300X2, D600, SHM1200).

Le soutien direct de la DT, commencé dès 2017, a pris fin avec ces livraisons.

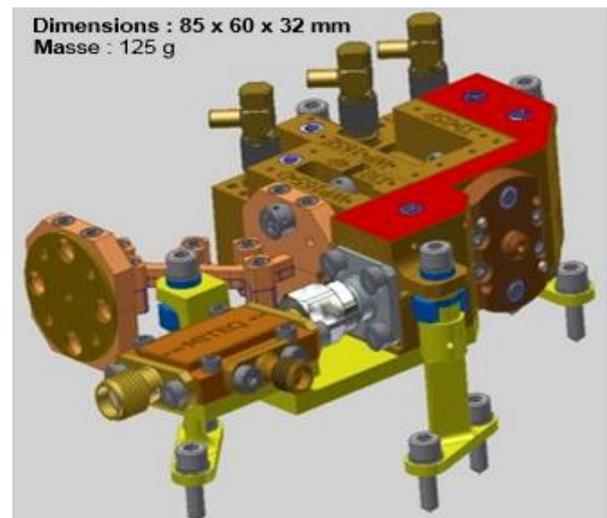


Figure 109 : Doubleur/mélangeur 1200 GHz

JUICE a été lancé avec succès le 14 avril 2023 depuis le centre spatial européen de Kourou en Guyane, sur une fusée Ariane 5, et il lui faudra huit ans pour atteindre Jupiter.

Personnel DT impliqué :

Joseph Spatazza, conception mécanique.

Christophe Berthod, simulations numériques.

Contact :

joseph.spatazza@cns.fr

christophe.berthod@cns.fr

2.32. MAE

Module d'Analyses Environnementales open source

Laboratoire demandeur : LIEC.

Chercheurs : J.P. Pinheiro / V. Dutreuil.

2.32.1. Objectifs scientifiques

Le projet vise à développer un ensemble de modules indépendants pour la mesure de concentration d'éléments chimiques en phase aqueuse sur le terrain. Ces modules permettront de gérer des transferts de liquides entre contenants, réaliser des dosages et effectuer des mesures dans des réacteurs. Ces modules pourront s'intégrer entre eux via une interface.

2.32.2. Description technique

Le premier module développé par la DT-INSU est un pousse seringue qui permettra de faire des prélèvements ou dosages.

Ce développement a été effectué en utilisant des techniques de fabrication additive (impression 3D) grand public, ainsi que des plateformes de contrôle électronique et informatique non propriétaires de basse consommation de manière à pouvoir être utilisées et modifiées par les utilisateurs.

Ce prototype a été qualifié sur un banc de test à la DT.

Le second module, une pompe à flux continu, qui aura une fonction de rinçage, de préparation des échantillons et d'alimentation d'une cellule de mesure, est en cours de développement à la DT-INSU.

Poster :

« Modules d'Analyses Environnementales : Instrumentation Open-Source pour les eaux naturelles », poster au colloque AEI 2022.

Personnel DT impliqué :

Benoit Arnold, Hervé Barrois, Laurence Beaumont.

Contact :

laurence.beaumont@cnr.fr

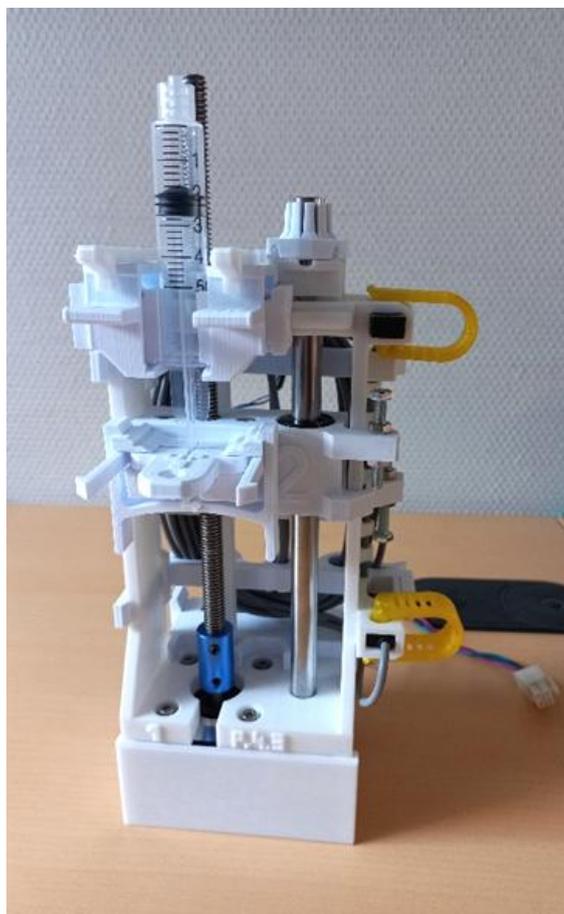


Figure 110 : Pousse seringue développé à la DT

2.33. Marel

Mesure de pCO₂ sur la bouée Marel Iroise

Laboratoire demandeur : IUEM.

Chercheurs : Y. Bozec, P. Rimmelin-Maury.

2.33.1. Objectifs scientifiques

L'objectif est l'observation haute fréquence du CO₂ en milieu côtier pour une meilleure compréhension du cycle du carbone dans la rade de Brest et de la mer d'Iroise. A l'échelle décennale, cela concerne l'étude de la déconvolution de l'impact des perturbations climatiques et des influences anthropiques.

2.33.2. Description technique

Un capteur de pCO₂ colorimétrique de type Carioca a été développé afin d'être installé sur la bouée Marel Iroise. Ce capteur effectue des mesures de pCO₂ et de température toutes les heures.



Figure 111 : Capteur pCO₂ sous la bouée Marel Iroise

2.33.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Deux capteurs sont installés à tour de rôle sur la bouée et sont permutés tous les 4 à 6 mois afin de retourner à la DT pour maintenance et étalonnage.

Ces 2 capteurs effectuent des mesures de pCO₂ et de température depuis 2003 sur la bouée Marel Iroise.

Les capteurs ont effectué des mesures jusqu'en 2021, puis la jouvence de la bouée Marel a été programmée au profit d'un autre type de capteur de pCO₂.

Personnel DT impliqué :

Benoit Arnold, Laurence Beaumont, Antoine Guillot.

Contact :

laurence.beaumont@cnr.fr

2.34. MARIN-A

Laboratoire demandeur : IPGP.

Chercheur responsable : Wayne Crawford.

2.34.1. Objectifs scientifiques

Lors de campagnes de mesure, des données sismiques sont collectées par les sismomètres fond de mer du parc OBS de l'INSU. Ces données doivent subir certains traitements et transformations afin de pouvoir ensuite être livrées, accompagnées de métadonnées, à des centres de distribution (Nœud-B EPOS-France) qui auront la charge de les mettre à disposition de chercheurs sismologues.

2.34.2. Description technique

Le système d'information MARIN-A (Nœud-A marin) va offrir les fonctionnalités suivantes :

- Collecte des résultats de campagne (données/métadonnées de réseau et stations/OBS) au sein d'établissement(s) gérant un parc OBS.
- Validation et prétraitement des données/métadonnées dans le cadre de la collecte.
- Traitement et contrôle qualité des données sismologiques collectées.
- Livraison des résultats de campagne au Nœud-B EPOS-France.
- Conservation sur le Nœud-A (pendant 5 ans) des données/métadonnées collectées.

2.34.3. Activités de la DT

- Participation à la mise en place de l'infrastructure système et réseau nécessaire au serveur Nœud-A sur le site de l'IPGP à Jussieu.
- Ajout des fonctionnalités d'ajustement temporel des données collectées et de contrôle qualité semi-automatisé via interface Web.
- Réalisation de la version 2 des logiciels SDPCHAIN pour le traitement des données sismologiques sur le serveur Nœud-A.
- Livraison des résultats des campagnes MoMAR 2007/2008/2009 (Long Term Monitoring of the Mid Atlantic Ridge) au centre de données sismologiques EPOS-France (ex Nœud-B RESIF).
- Rencontres avec les parcs instrumentaux UBO/Ifremer et OCA/Géoazur pour entamer leur intégration dans le Nœud-A marin.

Personnel DT impliqué :

Olivier Dewée.

Contact :

olivier.dewee@cnrs.fr

2.35. MARMOR

Laboratoire demandeur : LIENSs.

Chercheurs : Louis Gely (Ifremer), Valérie Ballu (LIENSs).

Partenaires : Ifremer, CNRS, IPGP, IRD, BRGM, ESEO, UBO, Université Côte d'Azur, Université La Rochelle, Université Grenoble Alpes, Observatoire Côte d'Azur.

2.35.1. Objectifs scientifiques

MARMOR (Marine Advanced geophysical Research equipment and Mayotte multidisciplinary Observatory for research and Response) est un projet d'une durée de 8 ans financé par les investissements d'avenir via l'appel d'offre EquipEx 3. Le projet a un double objectif :

- Structurer la communauté scientifique française, en fournissant à l'infrastructure de recherche Epos-France (ex Résif) les équipements nécessaires pour conduire des recherches d'excellence utilisant les outils de la sismologie et de la géodésie sous-marines.
- Mettre en place une infrastructure d'observation sous-marine à Mayotte pour assurer les impératifs de surveillance sismologique continue, temps réel 24/7, et conduire des recherches multidisciplinaires sur les phénomènes associés à la crise sismo-volcanique en cours.



Figure 112 : Déploiement des capteurs de pression lors de la mission SWOT-NC

2.35.2. Description technique

L'aide demandée à la DT-INSU porte sur :

- L'acquisition de capteurs de pression classiques afin de mesurer les variations de hauteur d'eau à différentes profondeurs : étude de marché, commande, réception, recette (2022), calibrations et prêts à la communauté (gestion et maintenance du parc instrumental). Deux capteurs ont été déployés pendant la mission SWOT-NC fin 2023 (collaboration PNI0).
- L'acquisition de drones marins de surface afin de monitorer le mouvement des fonds sous-marins avec un système de positionnement précis de balises acoustiques.

Pour cela, le LIENSs et la DT ont en charge de :

- Réaliser un sondage de la communauté scientifique pour inventorier les fonctionnalités du drone.
- Faire un état de l'art des drones existants.
- Passer un appel d'offre pour l'acquisition du drone hauturier qui doit également pouvoir fonctionner avec les drones côtiers qui seront acquis par le LIENSs.

Quelques caractéristiques du drone :

- Capacité à tenir une station par mer 5.
- Avoir un faible bruit acoustique (notamment par rapport à un gros navire utilisant ses propulseurs pour tenir une position).
- Pouvoir effectuer des missions multidisciplinaires (mesures acoustiques, physico-chimiques, biologiques).



Figure 113 : Drone Otter X de Maritime Robotics

2.35.3. Perspectives

L'appel d'offre a été publié en juillet 2024, le choix de l'industriel est prévu à la fin de l'année 2024 pour une livraison au printemps 2025.

Personnel DT impliqué :

Christine Drezen, Amandine Caillat, Antoine Guillot, Lionel Fichen, Christophe Penkerch, Michel Calzas.

Contact :

michel.calzas@cnrs.fr

<https://www.marmor-project.org/fr>

2.36. Mât FLUX

Laboratoire demandeur : LMD.

Chercheur responsable : Sabrina Speich.

2.36.1. Objectifs scientifiques

Il s'agit de la participation à la campagne de mesure EUREC4A, une initiative internationale en faveur du Grand défi scientifique du Programme mondial de recherche sur le climat, sur les nuages, la circulation et la sensibilité du climat. EUREC4A s'est déroulée du 20 janvier au 20 février 2020 et les opérations étaient basées à la Barbade.



Figure 114 : Logo de la campagne EUREC4A

EUREC4A visait à faire progresser la compréhension de l'interaction entre les nuages, la convection et la circulation et leur rôle dans le changement climatique. Dans quelle mesure la quantité de nuages cumulus peu profonds est-elle résistante ou sensible aux variations de la force du mélange convectif, de la turbulence de surface et des circulations à grande échelle ? Comment les effets radiatifs de la vapeur d'eau et des nuages influencent-ils les circulations et la convection à faible profondeur ? Dans quelle mesure les modèles méso-échelle de l'organisation convective conditionnent-ils la réponse des nuages aux perturbations ? Et quelles sont les implications de tout ce qui précède sur la façon dont les nuages réagissent au réchauffement ?

2.36.2. Description technique

EUREC4A a impliqué le déploiement de trois avions de recherche (l'avion allemand HALO, l'avion français ATR-42 et l'avion britannique Twin Otter), en coordination avec les mesures de surface de l'Observatoire des nuages de la Barbade (BCO) et du R/V Meteor stationné au vent de la Barbade, afin de quantifier la distribution des nuages en fonction de leur environnement à grande échelle. Ces mesures ont été complétées par d'autres mesures à bord des navires R/V L'Atalante et Opens R/V Maria S. Merian, ainsi que par un large éventail de véhicules aériens (drones), et par une modélisation de pointe de la résolution des turbulences (100 m, sur des milliers de km).

Ceci a nécessité la préparation du mât instrumenté de mesure de FLUX pour l'installer sur le navire R/V L'Atalante.



Figure 115 : Le navire R/V L'Atalante



Figure 116 : Le mât FLUX installé au sommet de la tourelle avant

2.36.3. Activités de la DT

- Préparation et configuration du mât de mesure de FLUX pour être installé pendant une campagne d'un mois au large de la Barbade sur le navire R/V L'Atalante.
- Utilisation d'un réfractomètre et d'un LICOR pour une mesure rapide de l'humidité, d'un anémomètre sonique pour la mesure de vent, d'une centrale inertielle pour connaître les mouvements du bateau, d'une mini station météo pour les mesures météo et d'un capteur de rayonnement solaire (direct et réfléchi).

Personnel DT impliqué :

Nicolas Geyskens, Aurélien Cléménçon, Hervé Barrois.

Contact :

nicolas.geyskens@cnr.fr

2.37. MICADO

Laboratoire demandeur : LESIA.

Chercheur responsable : Yann Clenet.

2.37.1. Objectifs scientifiques

MICADO est une caméra spectro-imageur proche IR (bandes I, J, H et K) travaillant à la limite de diffraction de l'ELT (Extremely Large Telescope) avec un champ de vue d'environ une minute d'angle. Développée sous le PI-ship du Max Planck Institut de Garching (MPE), sa conception a été axée sur une très grande sensibilité et une très haute précision astrométrique. Avec son champ significatif, sa haute résolution angulaire, sa grande précision astrométrique et une sensibilité remarquable, MICADO aura ainsi les capacités de balayer une large gamme de sujets astrophysiques.

Le design de MICADO est optimisé pour un fonctionnement avec une correction d'optique adaptative (OA) de type multi-conjuguée (MCAO), qui sera fournie par le module MAORY. Cependant, le consortium MICADO a poussé pour le développement d'un mode d'OA additionnel de type Single Conjugated Adaptive Optics (SCAO).

La participation française à l'instrument est assurée par le LESIA, le GEPI, l'IPAG, l'Observatoire de Besançon et la DT-INSU, sous responsabilité LESIA.

La participation française à MICADO est une chance unique d'accéder aux premières observations de l'ELT et permet à la France d'être responsable de cas scientifiques majeurs pour les laboratoires français : les exoplanètes et les objets du système solaire.

2.37.2. Description technique

Le LESIA a la responsabilité du module SCAO de MICADO. Celui-ci comporte un analyseur de front d'onde (Wave Front Sensor, WFS), un module de calibration (SCAO Calibration Unit, SCU) et un calculateur temps réel (RTC). Si ce dernier est déporté de l'instrument MICADO, les deux premiers sont intégrés sur un même banc (le banc SCAO) au sein d'un volume appelé Green Doughnut, monté sur le cryostat de MICADO et hébergeant sur un banc distinct des analyseurs MCAO de l'instrument MAORY.

2.37.3. Activités de la DT

Le LESIA est en charge des activités suivantes :

- Conception, réalisation et intégration opto-mécanique du WFS.
- Conception, réalisation et intégration opto-mécanique du SCU.

- Conception, réalisation et intégration mécanique de la structure support de la SCAO (banc+pieds), avec la gestion des interfaces externes.
- Réalisation des bancs de test du WFS et du RTC.
- Intégration de l'ensemble complet du SCAO en France.
- Livraison du module de SCAO et recette avec MICADO (Allemagne), possiblement avec MAORY (Italie), puis au télescope au Chili.

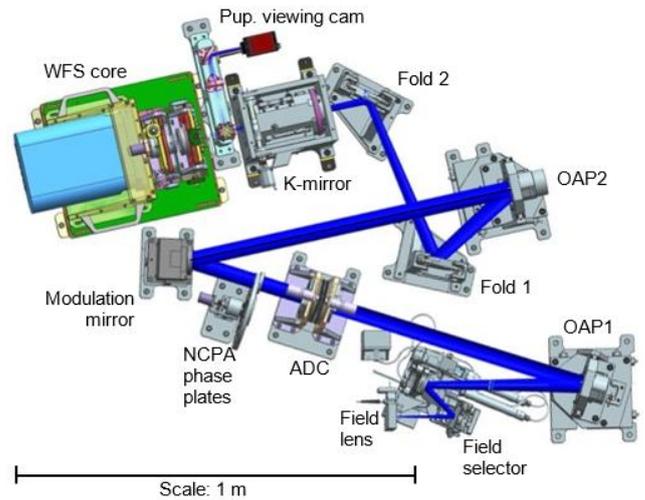


Figure 117 : Vue globale (de dessus) du système opto-mécanique de la SCAO

L'analyseur SCAO comprend plusieurs sous-ensembles et depuis le printemps 2018, la DT-INSU a pris en charge la conception d'un de ces sous-ensembles : le sélecteur de champ. La DT a effectué la conception de l'analyseur de surface d'onde (et la conception de bancs et d'outils de tests).

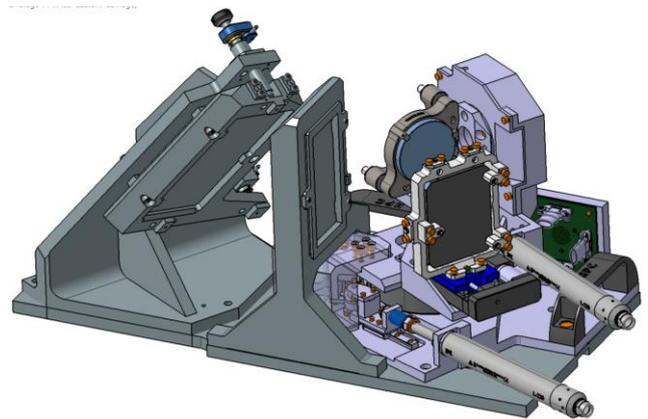


Figure 118 : Vue CAO du Field Selector intégré sur le support de la Field Lens

Le sélecteur de champ a été réalisé fin 2022 et est en phase de calibrage au LESIA depuis 2023. Le LESIA a adopté pour ce sous-système un développement de type proto-flight, où la conception est affinée en fonction du résultat d'un prototypage à échelle finale.

La DT a rédigé la documentation associée à son travail de conception, tout en participant aux tests du modèle proto-flight en cours d'approvisionnement. La DT a également assuré le suivi de fabrication du modèle finalisé.

Au-delà de cette contribution de la DT-INSU sur la conception du sélecteur de champ, la DT va participer à la conception mécanique d'un autre sous-système de l'analyseur de surface d'onde : le Pupil-Camera. L'activité a débuté en 2024 et se poursuit en 2025. Si le planning le permet, la DT réalisera également un travail de conception sur un troisième module : l'ADC, à partir de 2025.

Personnel DT impliqué :

Alexandre Blin.

Contact :

Olivier Charade.

olivier.charade@cnr.fr

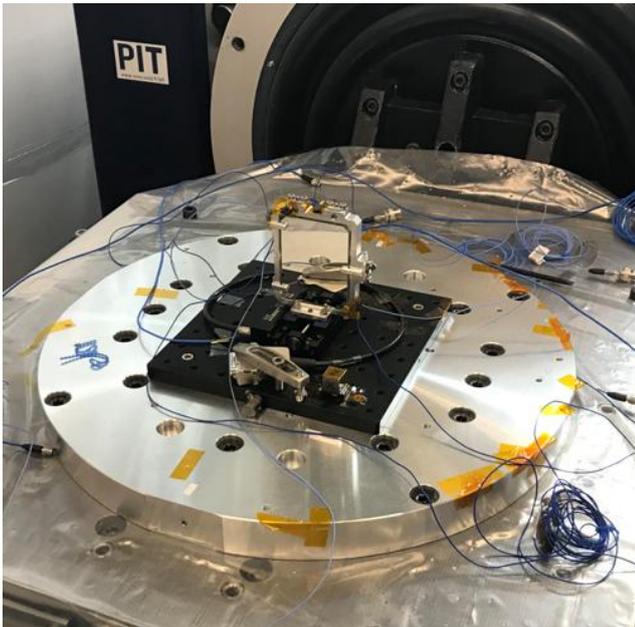


Figure 119 : Fin 2019, test sur pot vibrant à 4 g du support miroir et de la platine ; ce test qualifiera tous les calculs pour le reste des montages optiques



Figure 120 : Premier montage à blanc (février 2023)

2.38. MICMAG

Laboratoire demandeur : GET (Géosciences Environnement Toulouse).

Chercheur responsable : Mélina Macouin.

2.38.1. Objectifs scientifiques

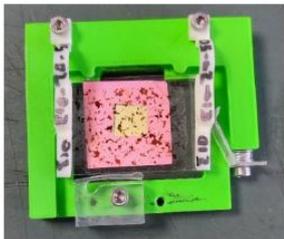
Instrument représentant une rupture dans la communauté « paléomagnétisme et magnétisme de roches », MicMag est un microscope magnétique permettant d'obtenir une image du champ magnétique d'une lame mince avec une résolution d'environ 50 microns.

2.38.2. Description technique

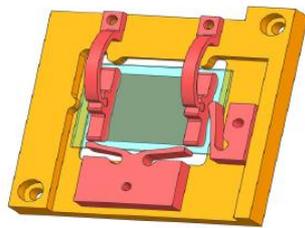
La particularité du microscope développé au GET est d'être basé sur un montage de capteurs à magnétorésistances géantes (GMRs, collaboration avec le CEA) permettant la mesure du vecteur champ magnétique complet en x, y et z. La maîtrise de la distance entre l'échantillon et le capteur est fondamentale, l'intensité du signal mesuré diminuant avec le cube de cette distance.

2.38.3. Activités de la DT

- Ré-design du support capteur.
- Ajout d'une 2ème caméra.
- Prototypage, tests et mesures.
- Réalisation (interne & sous-traitance).



1^{ère} version en impression 3D



Dernière version (CAO)

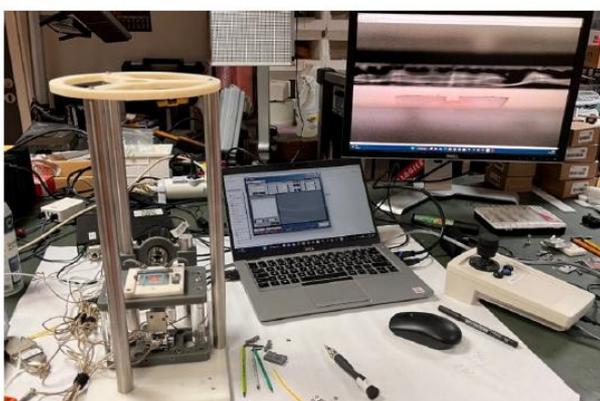


Figure 121 : Prototype du microscope

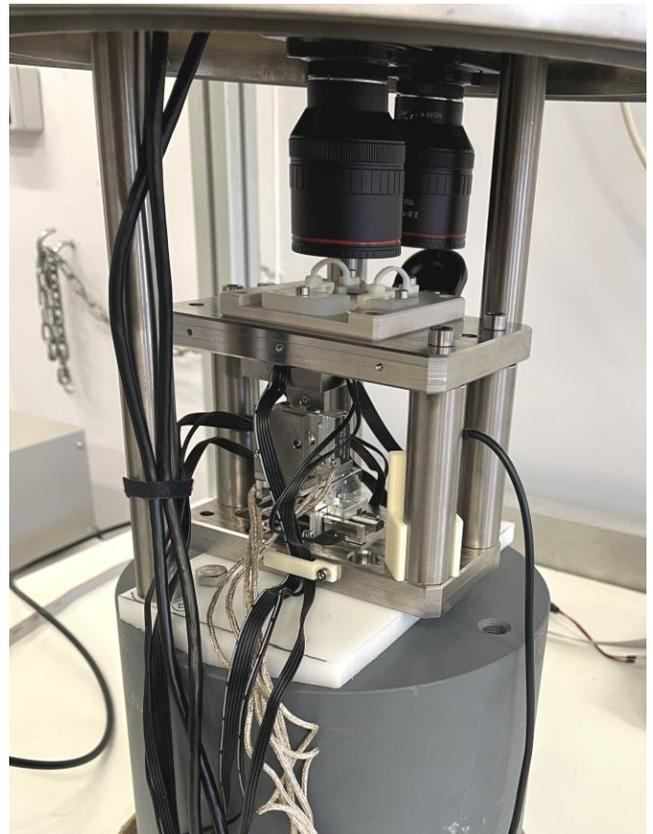


Figure 122 : Version livrée au GET, avec une distance d'acquisition < 50 μ m

2.38.4. Perspectives

La version livrée au GET en 2023 est en cours de test. De nouveaux développements sont demandés, ils portent sur :

- L'amélioration du positionnement de la lame mince par rapport au capteur suivant l'axe z (vertical).
- L'amélioration de la tête support des capteurs en utilisant un matériau plus rigide.
- L'amélioration du positionnement xy absolu sur la lame et l'interopérabilité entre microscopes.

Personnel DT impliqué :

Nicolas Geyskens, Labasse Berthe, Aurélien Cléménçon.

Contact :

nicolas.geyskens@cnr.fr

2.39. MOSAIC

Laboratoire demandeur : Observatoire de Paris - GEPI.

Chercheur responsable : Mathieu Puech (Co-PI).

2.39.1. Objectifs scientifiques

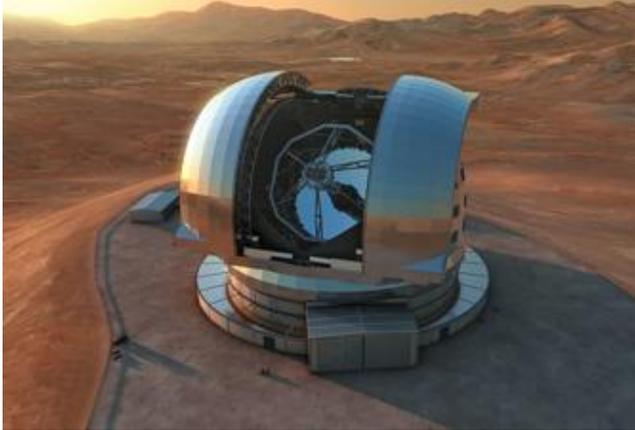


Figure 123 : Vue artistique du télescope ELT de l'ESO sur le site d'Atacama au Chili

Le projet MOSAIC, instrument de nouvelle génération pour l'Extremely Large Telescope (ELT), s'inscrit dans une démarche ambitieuse pour répondre à des questions fondamentales en astronomie. Parmi ses objectifs scientifiques, MOSAIC permettra de mieux comprendre les processus de formation et d'évolution des galaxies, en résolvant les galaxies lointaines en étoiles et en nuages interstellaires. Il contribuera également à l'étude des exoplanètes en permettant leur détection et leur caractérisation, y compris des planètes de type terrestre. Ces avancées offriront une perspective inédite sur la formation des galaxies et des structures à grande échelle de l'Univers, ainsi que sur la recherche des origines de la vie. MOSAIC est donc un outil clé dans l'exploration des mystères de la gravitation, de la relativité générale et du rôle des trous noirs supermassifs dans l'évolution de l'Univers.

2.39.2. Description technique

MOSAIC est un spectrographe multi-objet conçu pour fonctionner sur l'ELT, le plus grand télescope optique/infrarouge au monde avec un miroir principal de 39 mètres de diamètre. Doté d'une technologie avancée de spectroscopie à fibre intégrale (IFU), cet instrument est spécifiquement adapté pour explorer simultanément plusieurs cibles dans des champs étendus, avec une précision et une sensibilité inédites. L'instrument repose sur des innovations telles que l'optique adaptative, permettant une observation claire même à travers les perturbations de l'atmosphère terrestre. MOSAIC profite également d'outils numériques sophistiqués

pour gérer les exigences complexes de l'instrumentation. Grâce à son architecture flexible et modulaire, MOSAIC est préparé à s'adapter aux évolutions futures des besoins scientifiques, garantissant ainsi un retour maximal pour les communautés astronomiques.



Figure 124 : Vue artistique de l'instrument MOSAIC

2.39.3. Activités de la DT

Pour soutenir le développement de MOSAIC, plusieurs activités spécifiques ont été confiées à la DT-INSU. Le GEPI supervise l'ingénierie système et le travail sur les fibres IFU, avec un appui marqué en ingénierie assuré par Johann Gironnet, ingénieur système adjoint. En 2022, il a joué un rôle essentiel dans la coordination des tâches, l'animation de sessions de travail intensives, la gestion de la documentation et la diffusion d'outils numériques comme ReqSuite. En 2023 et 2024, son rôle a été encore plus crucial avec l'entrée de MOSAIC en phase B1. Cette étape implique en effet de décliner les exigences scientifiques en spécifications techniques et de concevoir des solutions techniques viables pour répondre à ces spécifications. La demande a inclus un soutien équivalent à 0,8 ETP pour répondre à ces défis stratégiques et garantir la réussite des étapes critiques de cette phase.

Personnel DT impliqué :

Johann Gironnet.

Contact :

Olivier Charade.

olivier.charade@cnr.fr

2.40. NAVSTA

Laboratoire demandeur : CNFC.

Chercheur responsable : Dominique Lefèvre.

2.40.1. Objectifs scientifiques

Depuis janvier 2018, la flottille des navires de station fait partie de la très grande infrastructure de recherche (TGIR) « Flotte océanographique française » opérée par l'Ifremer. Cette flottille est constituée de 7 navires répartis le long des façades maritimes métropolitaines françaises : Sépia II (Boulogne), Neomysis (Roscoff), Albert Lucas (Brest), Planula IV (Arcachon), Néréis II (Banyuls), Antédon II (Marseille), et Sagitta III (Villefranche sur mer). Ces navires, d'une taille comprise entre 10 m et 20 m de longueur, effectuent des sorties de courte durée (souvent à la journée avec retour au port le soir) dans des zones géographiques limitées (rayon d'action limité à proximité des OSU et des stations marines). Ils sont accessibles de manière permanente à la communauté scientifique nationale par un appel d'offres semestriel (ouverture en mars et septembre pour des sorties programmées les semestres suivants) via le site <https://navsta.dt.insu.cnrs.fr>.

2.40.2. Description technique

Le site web a été développé en 2013 par la DT-INSU en PHP avec une base de données MySQL. Il permet de :

- Gérer les appels à projets.
- Faire une demande de campagne.
- Voir les demandes de campagnes.
- Nommer des experts (évaluateurs) de campagne.
- Exporter des tableaux à propos des appels à projets.

2.40.3. Activités de la DT

En 2020, de nouvelles fonctionnalités ont été ajoutées :

- Formulaire d'oubli de mot de passe.
- Évaluation des demandes en ligne.

Personnel DT impliqué :

Elodie Godinho.

Contact :

elodie.godinho@cnrs.fr

FLOTTE OCÉANOGRAPHIQUE FRANÇAISE PAR L'IFREMER

NAVIRES DE STATION

Accueil Appel à projets Demande Évaluation Navires

Identifiant
Mot de passe
Ok
mot de passe oublié ?

Bienvenue sur le site des navires de station de la Flotte Océanographique Française

Depuis janvier 2013, la flotte des navires de station fait partie de la Flotte océanographique française. La Flotte est constituée de 6 navires répartis le long des façades maritimes métropolitaines françaises : *Sepia II* (Boulogne), *Neomysis* (Roscoff), *Albert Lucas* (Brest), *Planula IV* (Arcachon), *Nereis II* (Banyuls) et *Antedon II* (Marseille). Les ports d'attache de ces navires sont généralement situés à proximité de Stations Marines et d'Observatoires des Sciences de l'Univers (OSU) du CNRS/INSU.

Ces navires, d'une taille comprise entre 10m et 20m de longueur, effectuent des sorties de courte durée (souvent à la journée avec retour au port le soir) dans des zones géographiques limitées (rayon d'action limité à proximité des OSU et Stations Marines).

Ces navires permettent la réalisation de campagnes de :

- **recherche** dans les différentes disciplines de l'océanographie : Géosciences et Paléoclimatologie, Physique, Chimie et Biogéochimie, Biologie et écosystèmes, halieutique et évaluation des stocks.
- d'**observation et de surveillance** du milieu marin dans les différentes disciplines citées ci-dessus.
- d'**enseignement** au bénéfice des universités françaises et européennes dispensant des enseignements des disciplines marines.
- de **technologie** notamment pour le développement et le test de nouveaux systèmes instrumentaux.

Ces navires sont accessibles de manière permanente à la communauté scientifique nationale par un appel à projets semestriel (ouverture en mars et septembre pour des sorties programmées les semestres suivants).

L'appel à projets scientifiques 2025 semestre 1 pour les navires de station est ouvert!

[Lire l'appel à projets 2025 semestre 1](#)

[Déposer une demande de campagne pour 2025 semestre 1](#)

[Programme des navires](#)
[Charte d'utilisation des navires de station](#)

[Contacter le webmaster - Documentation utilisateur](#)

Figure 125 : Site de l'appel à projets des navires de station

2.41. NIVMER

Développements et opérations autour du réseau ROSAME du service d'observation SONEL

Laboratoire demandeur : LEGOS.

Chercheur : Laurent Testut.

Partenaires : DT-INSU, LEGOS, LIENSs, IGN, IPEV.

2.41.1. Objectifs scientifiques

Le niveau de la mer est une composante fondamentale observable de la variabilité de la dynamique océanique, aux différentes échelles de temps. Le programme NIVMER (NIVEau de la MER), est un SO (Service d'Observation) labellisé de l'INSU. Il s'intègre dans le réseau ROSAME (Réseau d'Observation Subantarctique et Antarctique du niveau de la MER) inscrit au programme international GLOSS (Global Sea Level Observing System). Il contribue à exploiter l'observation du niveau des océans à l'échelle globale, dans le cadre de l'étude dynamique du climat.

Le programme scientifique s'articule autour de cinq objectifs :

- Etude des marées océaniques.
- Validation des observations satellitaires.
- Suivi à long terme du niveau de la mer.
- Contrôle de la variabilité du Courant Circumpolaire Antarctique (CCA).
- Transmission en temps réel de données pour le réseau de prévention des tsunamis.

2.41.2. Description technique

C'est un réseau de marégraphes associés à des récepteur GNSS situés dans les Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF) sur les sites de Crozet, Kerguelen, Saint-Paul et Dumont d'Urville. Les observations du niveau de la mer s'effectuent avec différents matériels conçus, développés et mis en œuvre par la DT-INSU.

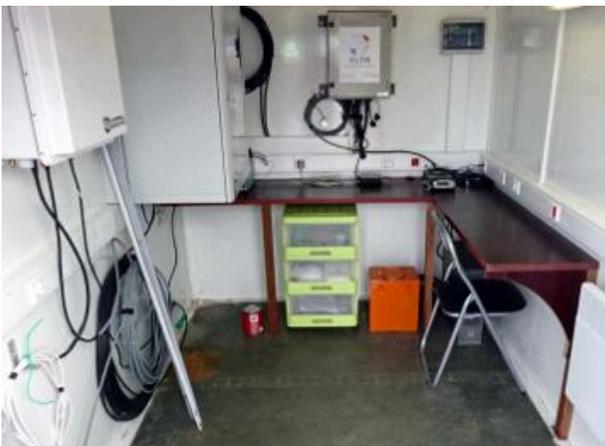


Figure 126 : Station marégraphique dans le shelter de Kerguelen

- Des centrales marégraphiques côtières (centrale d'acquisition à terre reliées électriquement à un marégraphe et ou un radar).
- Des mouillages marégraphiques au large des îles (pour découpler le signal hauturier des effets côtier).
- Des bouées GNSS pour le rattachement absolu des marégraphes.
- Des stations de base GNSS à terre pour une mesure différentielle et centimétriques des bouées (post traitement).
- Des stations de mesure du niveau de la mer par réflectométrie GNSS.



Figure 127 : Bouée GNSS en Terre Adélie

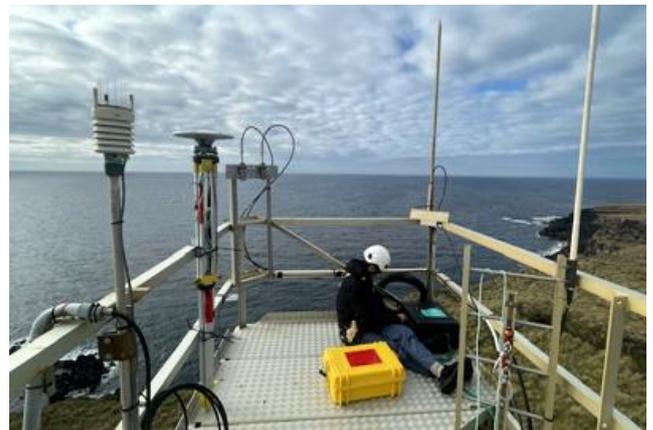


Figure 128 : Antenne de réflectométrie à Amsterdam

2.41.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

- Marégraphe autonome nouvelle génération avec IHM de configuration, commercialisé par la société Maritech (transfert de licence).
- Bouées GNSS et système Cyclopée (voir projet FOAM).
- Campagnes dans les îles subantarctiques (2020, 2022, 2024).

- Campagnes en Antarctique (2020, 2022, 2023, 2024).
- Implantation de stations de réflectométrie GNSS à Dumont d'Urville, Crozet et Kerguelen.



Figure 129 : Radar et tube marégraphique à Kerguelen



Figure 130 : Radar sur l'île Saint-Paul

2.41.4. Perspectives

- Prochaine mission : Antarctique en 2025 afin de doubler la station marégraphique avec un marégraphique autonome.
- Prospection d'un 2ème site de marégraphique.
- Mesure du niveau de la mer par réflectométrie GNSS.
- Station marégraphique nouvelle génération.

Personnel DT impliqué :

Cédric Brachet, Michel Calzas, Christine Drezen, Christophe Guillerm, Antoine Guillot, Lionel Fichen.

Contact :

antoine.guillot@cnsr.fr

michel.calzas@cnsr.fr

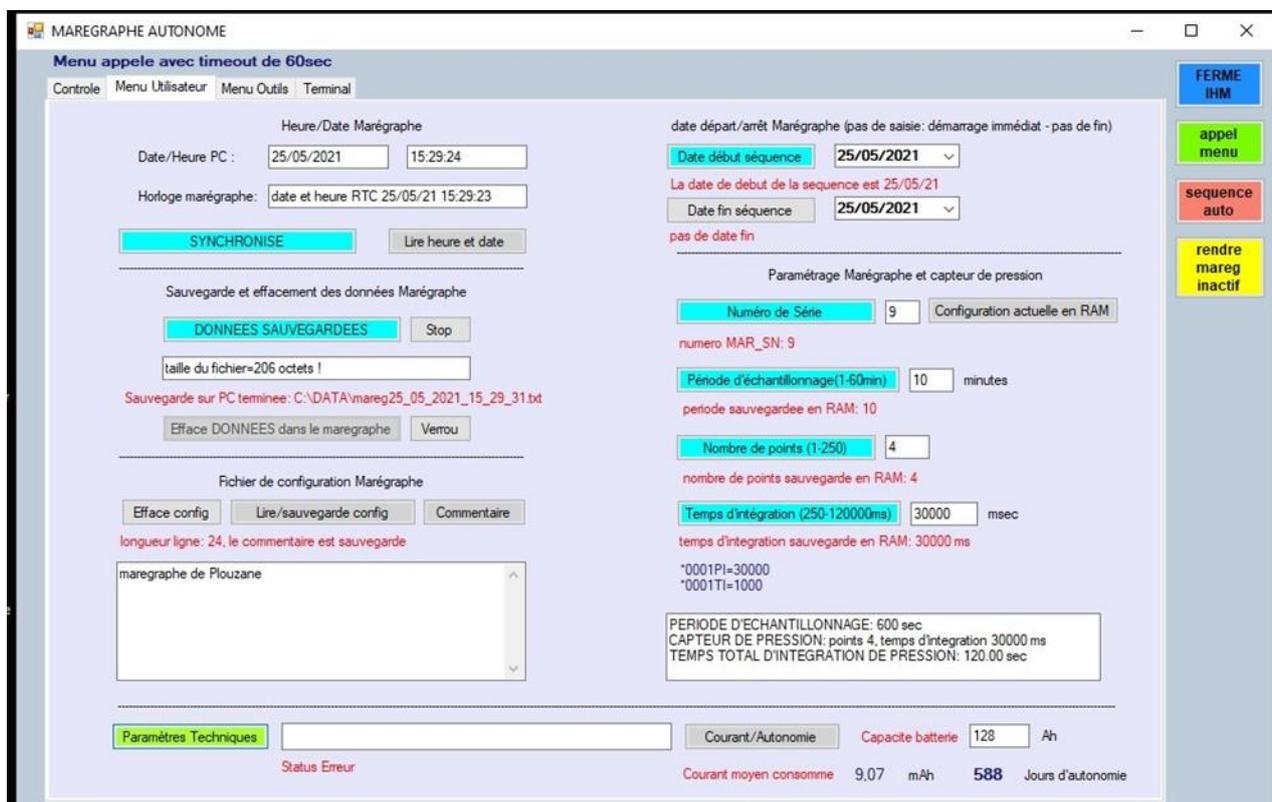


Figure 131 : IHM de configuration (mise à l'heure, extraction des données, paramétrages, etc) du marégraphique autonome nouvelle génération V3

2.42. PAMELI

Plateforme Autonome Multi-capteurs pour l'Exploration interdisciplinaire du Littoral

Laboratoire demandeur : LIENSs.

Chercheur responsable : Valérie Ballu.

Partenaires : DT-INSU, LIENSs, L3I, Université de La Rochelle, OASU.

2.42.1. Objectifs scientifiques

Obtenir une vision 4D intégrée dans le temps et dans l'espace du compartiment marin et de sa surface. Par ailleurs, la zone côtière représente un défi pour les observations satellitaires côtières, ce qui nécessite des validations par des mesures in-situ.

2.42.2. Description technique

Pameli consiste en un drone marin de surface autonome (ASV en anglais). Un cahier des charges a été établi en tenant compte des souhaits des équipes scientifiques et de la réalité du marché. Pameli doit être une plateforme évolutive allant de l'acquisition multi-capteurs à la gestion automatique du flux de données et à la mise à disposition libre d'une base de données spatio-temporelles.



Figure 132 : Le drone Pameli en navigation

Un marché a été publié en 2018 et c'est le modèle C-CAT3 de la société anglaise ASV qui a été choisi. Il a été ensuite demandé à la DT de travailler sur 3 équipements :

- Adapter l'instrument Cyclopée (voir fiche).
- Développer un treuil pour faire des profils verticaux de mesures de température et de salinité.
- Développer un système pour prélever des échantillons d'eau de mer de surface.

Un PC embarqué et déporté à terre (par HF, Wifi, ou 4G) permet de contrôler et piloter les instruments scientifiques.

2.42.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Drone Pameli (2016-2018) :

- Cahier des charges (2016-2017).
- Publication du marché (mai 2017).
- Choix du drone (automne 2017).
- Construction (1er semestre 2018).
- Recette (été 2018).
- Livraison (octobre 2018).

Mini-Cyclopée (2019) :

C'est un système couplé GPS-altimètre acoustique monté sur un bras stabilisateur pour maintenir la verticalité quand le drone fait route. L'ensemble est recouvert d'une toile pour le protéger des embruns. Par soucis de place dans le drone, la taille du boîtier de commande a dû être réduite par rapport à celui de Cyclopée en intégrant un petit récepteur GNSS (Trimble BX 940) et en supprimant les batteries d'alimentation. En effet, un pack énergie (24V isolé) est prévu à bord pour l'instrumentation scientifique. Une IHM permet de visualiser et contrôler en temps réel les données des instruments.



Figure 133 : Installation du Mini-Cyclopée sur Pameli

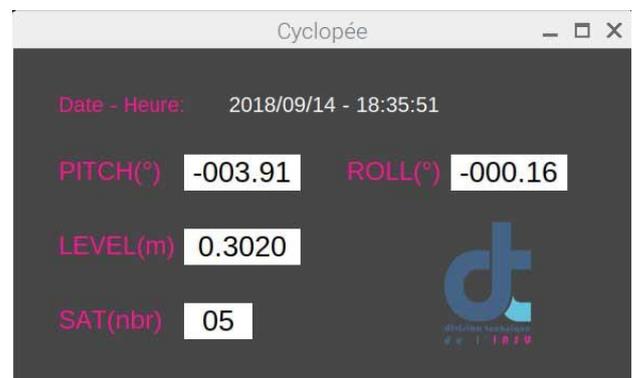


Figure 134 : IHM de Mini-Cyclopée

Mini treuil (2018-2020) :

L'objectif est de faire des profils de mesure de température et salinité à l'aide d'une petite sonde (AML Base X2 CTD) entre 0 et 40 m de profondeur. Il est composé d'un portique situé à l'arrière du drone

et d'un treuil. Un programme permet de déclencher les profils avec la profondeur de surface, la vitesse de défilement et la profondeur de fond comme arguments. Le courant du moteur est mesuré en permanence et permet de contrôler le bon déroulement des opérations. La profondeur est calculée pour donner une indication.



Figure 135 : Test du treuil avec une charge fictive

Préleveur (2018-2021) :

Il s'agit de pouvoir prélever jusqu'à 5 échantillons d'eau de mer de sub-surface de 0,5 à 1 litre. Cinq poches sont suspendues dans la partie avant du drone. Un tuyau souple équipé d'une crépine permet de prélever l'eau au niveau de la dérive instrumentée. Une IHM permet de déclencher les prélèvements en indiquant le numéro de poche et le volume et de rincer le circuit après utilisation. Des sécurités sont prévues pour détecter et afficher les anomalies ainsi que la présence d'eau au fond du drone.

Une 2ème version plus aboutie a été développée sur le même principe mais avec 12 voies.



Figure 136 : Préleveur 12 voies

Posters et publications :

- 2017 : Colloque Défi-Instrum Paris, OSTST Miami.
- 2018 : Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil La Rochelle.
- 2019 : Ateliers AEI Lille, Colloque Risques Côtiers La Rochelle.
- 2021-2023 : ANF Drones et Capteurs.

Personnel DT impliqué :

Cédric Brachet, Michel Calzas, Christine Drezén, Lionel Fichen, Christophe Guillerm, Antoine Guillot.

Contact :

antoine.guillot@cns.fr



Figure 137 : Mini-Cyclopée en mesure sur des traces satellites altimétriques devant Fort Boyard

2.43. Pico-SDLA

Laboratoire demandeur : GSMA.

Chercheuse responsable : Georges Durry.

2.43.1. Objectifs scientifiques

Le projet Pico-SDLA est un projet commun DT-INSU – GSMA (Groupe de Spectroscopie Moléculaire et Atmosphérique), dont la maîtrise technique du développement instrumental est entièrement à la DT et la partie scientifique au GSMA. Les campagnes scientifiques et de calibrations sont réalisées par les deux.

Les Spectromètres à Diode Laser Accordables (famille SDLA), développés à la Division Technique depuis 1996, sont des instruments embarqués sous ballon stratosphérique. Ils sont destinés aux mesures in situ de vapeur d'eau, de dioxyde de carbone et de méthane dans l'atmosphère.

L'étude de la tendance de la vapeur d'eau stratosphérique est un sujet de préoccupation majeur. Des études scientifiques ont montré que des variations de vapeur d'eau dans la haute troposphère et la basse stratosphère influencent de manière non-négligeable le bilan radiatif à l'échelle globale. Au-delà de l'aspect radiatif, l'augmentation de la vapeur d'eau stratosphérique pourrait avoir des conséquences négatives sur la couche d'ozone. Le développement d'une sonde de vapeur d'eau fiable pour la stratosphère fait l'objet de travaux intenses au niveau international du fait que sa mesure in situ représente un véritable challenge technique. En effet, depuis 40 ans, les intercomparaisons instrumentales d'hygromètres en vol ou en chambre de simulation (campagnes AQUAVIT) sont sujettes à des biais et contaminations difficiles à contrôler. La mesure de dioxyde de carbone et de méthane in situ est également extrêmement intéressante pour tracer l'origine des masses d'air sondées mais aussi pour le suivi global des émissions ou de l'évolution temporelle de la circulation stratosphérique (âge de l'air) et la validation satellitaire de missions satellites telles que OCO-2 ou MERLIN. En effet, le succès scientifique de ces nouvelles missions repose sur la précision des mesures apportées. Les niveaux à atteindre aujourd'hui (précision meilleure que 1%) sont très difficiles à atteindre.

2.43.2. Description technique

Le principe de mesure des spectromètres à diode laser accordable repose sur la technique d'absorption directe dans le moyen infrarouge ($\lambda \sim 2.6 \mu\text{m}$ pour H₂O/CO₂ et $3.3 \mu\text{m}$ pour le CH₄): l'espèce moléculaire sondée absorbe partiellement le

rayonnement laser le long du parcours optique lorsque la fréquence d'émission du laser coïncide à une des fréquences de résonance de la molécule. En effet, chaque molécule possède un spectre d'absorption propre qui constitue son empreinte digitale, permettant ainsi une identification non ambiguë de l'espèce sondée. La concentration de l'espèce dans l'atmosphère est obtenue à partir du traitement des spectres atmosphériques enregistrés.

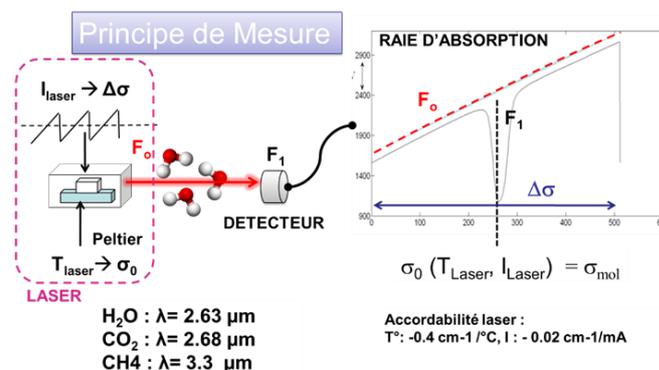


Figure 138 : Principe de fonctionnement

Ces instruments sont déclinés en plusieurs versions (simple ou bi-gaz), autonome en énergie ou alimenté par une nacelle principale, intégré dans une nacelle ou volant seul sous ballon météo. Il en résulte 3 configurations : Pico-SDLA STRAT (version bi-gaz destinée aux campagnes Stratéole-2), PICO-SDLA standard (version classique qui vole sous BSO, autonome en énergie, vols courts) et enfin PICO-LIGHT BLD (version light mono gaz, volant sous ballon météo, inférieur à 3 kg).

2.43.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Pico-SDLA STRATEOLE-2

Cette famille d'instruments bi-gaz a été développée spécifiquement dans le cadre du programme Stratéole-2, qui a démarré en 2015 pour comprendre les processus d'hydratation / déshydratation de la tropopause équatoriale.

Après le vol technologique d'un instrument, réalisé pendant la première campagne Stratéole-2, entre décembre 2019 et février 2020 (80 jours de vol), l'équipe projet Pico-SDLA a préparé pour la seconde campagne (fin 2021 début 2022) quatre instruments Pico-SDLA bi-gaz (3 H₂O/CO₂, 1 H₂O/CH₄, 1 instrument spare) supplémentaires. Ces instruments ont été réalisés en interne et par sous-traitance. Les activités Assemblage, Intégrations et Tests ont été menées en interne avant la campagne et ensuite réalisées à nouveau sur le site de la campagne. Les AIT ont été fortement impactés par la situation sanitaire

exceptionnelle survenue au début 2020. Parmi ces nombreuses AIT, un travail spécifique a été réalisé sur la calibration des diodes laser à l'aide d'un lambdamètre. Ainsi, les diodes ont pu être individuellement étalonnées pour obtenir leur accordabilité en courant et en température.

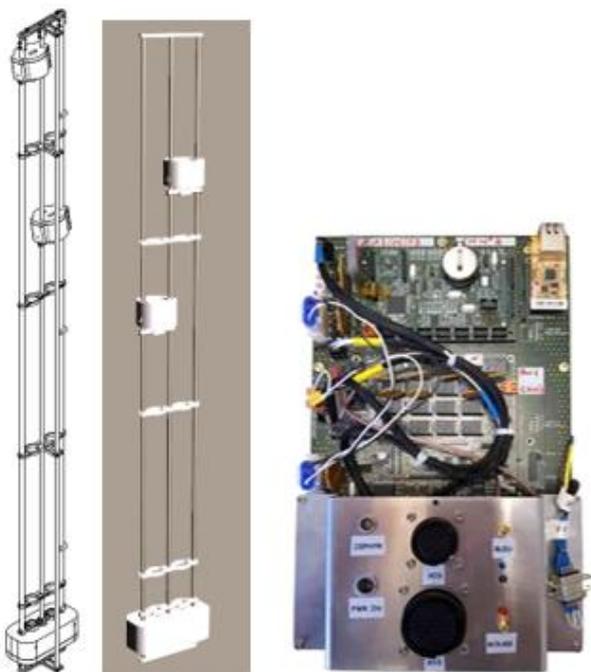


Figure 139 : Vues CAO de la cellule optique de Pico-SDLA bi-gaz, et vue de son bloc électronique

Entre octobre et décembre 2021, les instruments ont été déployés par le CNES et les équipes Zéphyr (LMD) et DT-INSU/GSMA, depuis la base scientifique située aux îles Seychelles.



Figure 140 : Cellule optique de Pico-SDLA attachée sous la nacelle Zéphyr



Figure 141 : Décollage de nuit pour la chaîne de vol constituée du ballon, de la nacelle Zéphyr et de Pico-SDLA (de gauche à droite)

Les instruments ont parfaitement fonctionné et permis d'obtenir des mesures de H₂O, CO₂ et CH₄ avec une périodicité d'environ 4 à 12 minutes. Au total, sur les deux campagnes, près de 500 000 mesures in-situ ont été obtenues entre 18 km-20 km d'altitude dans la tropopause équatoriale.

Les instruments Pico-SDLA STRAT bi-gaz ont été comparés aux hygromètres FLASH-B (à bord de RaChuTs sous ballon Stratéole 2) et NOAA FPH (lâché depuis Hilo, Hawaï). Des coïncidences de colocalisation ont pu être trouvées afin de permettre des comparaisons quantitatives. Ces comparaisons indiquent que :

- Plusieurs instruments Pico-STRAT bi-gaz sont en accord entre eux (on parle de reproductibilité) à $0.07 \pm 2.2\%$.
- Pico-STRAT bi-gaz et FLASH-B sont en accord à $1.1 \pm 3.9\%$ dans les cas de colocalisation les plus favorables.
- Pico-STRAT bi-gaz et NOAA FPH sont en accord à $1.2 \pm 4.1\%$ entre 18 et 19 km.

Ces résultats confortent quant aux capacités des instruments de la famille Pico-STRAT bi-gaz.

A l'issue de la campagne, l'ensemble des 4 instruments ont été perdus en mer (comme prévu initialement) sauf l'un d'entre eux ayant atterri en Colombie (partie amazonienne). Il a été récupéré et ramené deux années plus tard dans les locaux de la DT-INSU. Actuellement l'équipe prépare la dernière campagne scientifique qui a été décalée à la fin 2026 pour des raisons opérationnelles. Deux premiers instruments ont été livrés à l'été 2024 pour tests en chambre climatique. Les 2 suivants ont été livrés en mars 2025.

Campagne ballon Kiruna 2021

La famille Pico-SDLA standard a bénéficié des développements électroniques, mécaniques et

thermiques effectués sur la famille Pico-SDLA STRAT. La campagne CNES/HEMERA (projet européen d'infrastructure de recherche ballon) a été décalée à l'été 2021 suite à la crise sanitaire survenue en 2020. Cette campagne consistait notamment en un vol des instruments Pico-SDLA CH4 et PICO-STRAT bi-gaz à l'intérieur de la nacelle TWIN (structure aluminium ouverte à l'air). La nacelle TWIN contenait également des échantillonneurs d'air de différentes nature : cryogénique (Univ. de Francfort), Aircores (mesures limitées à CO2, CH4, Univ. de Francfort et de Groningen, et FZJülich), à sac (Center for Isotope Research). Ce vol a permis d'intercomparer les mesures de chaque instrument et de valider la nacelle pour des études de chimie stratosphérique ou de l'âge de l'air où d'éventuelles contaminations pourraient être un problème majeur. Cette campagne s'est déroulée en août 2021 sur la base de Kiruna en Suède.



Figure 142 : Nacelle TWIN porteuse des instruments

Les résultats de l'intercomparaison montrent que :

- Les mesures CO2 avec Aircores sont en accord à 0.4 ppmv dans la troposphère et 1.3 ppmv dans la stratosphère.
- Les mesures de CH4 entre Pico-SDLA CH4 et l'échantillonneur d'air cryogénique (référence) sont en accord moyen à 9 ppbv dans la stratosphère. Ici, les mesures à très haute résolution de Pico-SDLA CH4 sont un réel avantage puisqu'elles permettent de résoudre des structures invisibles aux autres techniques (y compris les Aircores).
- Les mesures de CH4 avec Aircores sont en accord à 2 ppbv dans la troposphère et 5 ppbv dans la stratosphère. Les mesures CH4 des Aircores sont en accord à 34 ppbv avec l'échantillonneur d'air cryogénique.

Les résultats de l'intercomparaison montrent également tout l'intérêt des mesures Pico-SDLA : grâce à des travaux de spectroscopie de laboratoire,

les mesures in situ de notre instrument se comparent aux techniques de référence dans la troposphère et dans la stratosphère (c'est aussi vrai pour H2O) et ont un avantage certain en terme de résolution spatiale et temporelle.

Campagne d'intercomparaison AQUAVIT-4

L'instrument Pico-Light H2O a été adapté pour participer à la campagne d'intercomparaison d'hygromètres AQUAVIT-4 dans la chambre de simulation atmosphérique AIDA de Karlsruhe (Allemagne). Cette campagne a pris place dans le cadre du projet d'infrastructure européenne ballon HEMERA H2020 et a été financé par ATMO ACCESS (Europe). Elle s'est déroulée en mars/avril 2022 et représente un exemple de collaboration inter-infrastructure. La chambre AIDA est capable de reproduire les conditions atmosphériques en termes de pression, température ainsi que de concentration in situ de vapeur d'eau. Pico-SDLA H2O (prédécesseur de Pico-Light H2O) avait déjà participé à deux campagnes AQUAVIT précédentes en 2007 et 2013 (AQUAVIT-1 et -2).

La campagne consistait en une première semaine d'installation des instruments et de tests préliminaires par chaque équipe, suivi d'une seconde semaine de mesures à l'aveugle. Les conditions simulées dans la chambre étaient alors inconnues des participants et ont été définies par un jury d'experts scientifiques indépendant. Chaque équipe devait leur délivrer les résultats dans un délai de 3 à 6 mois.

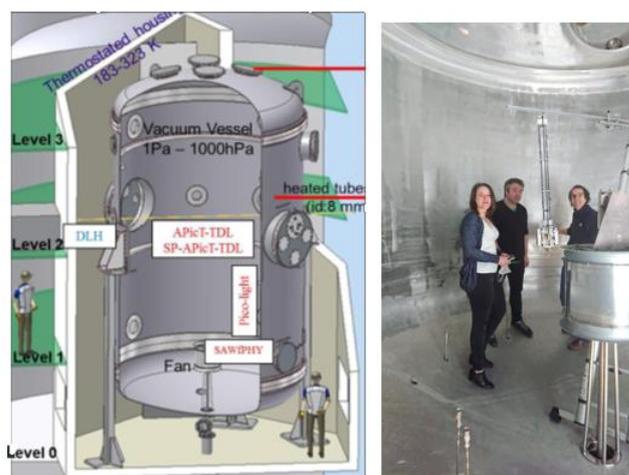


Figure 143 : Schéma de la chambre AIDA et de l'installation des capteurs, vue de l'intérieur

Les instruments impliqués étaient Pico-Light H2O, SAWfPHY (LMD, hygromètre à point de givre), ALBATROSS (EMPA, Suisse, spectromètre à diode laser avec cellule multipassage), DLH (spectromètre à diode laser sur avion, NASA Langley), aPicT et SP-aPicT (spectromètres à diode laser, intégré à AIDA,

KIT, Allemagne) et MBW373LX (hygromètre de référence à point de givre). Les résultats de la campagne montrent que la plupart des instruments (ALBATROSS, Pico-Light H2O, DLH) sont en accord à mieux que $\pm 4\%$ pour des rapports de mélange supérieurs à 100 ppmv. Pour des rapports de mélange entre 10 et 100 ppmv (typiques de la haute troposphère), l'accord se situe dans les $\pm 7\%$ et dans l'intervalle $\pm 8\%$ pour des rapports de mélange entre 2 et 10 ppmv (typiques de la stratosphère). Il est intéressant de noter que tous les instruments participants remplissent l'objectif seuil du GCOS (Global Climate Observing System) qui définit les exigences en terme de mesure de variables climatiques essentielles. Il est aussi important de noter que l'objectif du GCOS pour les seuils « avancées significatives » et « but à atteindre » sont de la même amplitude que l'incertitude de mesure des instruments de référence. Ainsi, il apparaît difficile à l'heure actuelle d'évaluer la capacité des instruments à répondre aux critères les plus élevés du GCOS.

Campagne AsA 2022

L'instrument Pico-Light H2O-BLD a participé à la campagne d'intercomparaison d'hygromètres AsA 2022 qui a eu lieu en septembre 2022 depuis la base du CNES à Aire-sur-l'Adour. Tout comme AQUAVIT-4, cette campagne a pris place dans le cadre de HEMERA H2020 et a été financé par le CNES. Les hygromètres participants étaient Pico-Light H2O, le Micro-hygromètre (LPC2E, à point de givre innovant), NOAA FPH (NOAA ESRL, USA, hygromètre à point de givre de référence) et les sondes M20 (MétéoModem).



Figure 144 : Lâcher du ballon (à gauche), Instrument Pico-Light H2O BLD (à droite)

Les hygromètres ont été lancés sous ballon latex de petite capacité pour l'emport de charges utiles inférieures à 3 kg. La campagne s'est déroulée sur 2 semaines sous forme de 3 sessions de lâchers. Les vols durent entre 2h et 3h et permettent d'atteindre l'altitude de 30 à 32 km. Les mesures pour la vapeur d'eau sont effectuées pendant la phase de descente, à raison de 2 spectres par seconde. Les instruments Pico-Light H2O et Micro hygromètre ont volé sous chaîne de vol CNES, avec une distance Pico-Light H2O/parachute de l'ordre du mètre. La chaîne de vol totale mesure 15 m.

Les résultats montrent que Pico-Light H2O est en accord en moyenne à $2.1 \pm 4.2\%$ dans la stratosphère (en-dessous de 23 km) et de $3.8 \pm 23.6\%$ (forte dispersion due à la variabilité troposphérique de vapeur d'eau : instruments sous deux ballons différents) dans la troposphère avec l'hygromètre de référence NOAA FPH. Des comparaisons en humidité relative (RH) ont aussi été réalisées dans le cadre de cette campagne en comparant les mesures de Pico-Light H2O à celles de NOAA FPH et des sondes M20. Pico-Light H2O et NOAA FPH sont en accord moyen à 0.2% RH, avec une variabilité à 30% liée encore une fois au fait que les deux instruments n'ont pas volé sous le même ballon.

Ces résultats sont majeurs pour le développement de cet instrument qui valide donc ses performances. Des comparaisons au-dessus de 23 km n'ont pas été possibles à cause du dégazage du ballon et des éléments de la chaîne de vol lié à une chaîne de vol trop courte. La constatation des problèmes de dégazage pendant cette campagne, mais aussi pendant les décennies précédentes, ont permis d'initier des groupes de travail internes au CNES afin d'allonger la chaîne de vol pour les mesures de vapeur d'eau et d'aérosols. Une chaîne de vol longue (40 m) sera désormais accessible aux vols scientifiques à partir de l'automne 2025 (date de la campagne AsA 2025).

Campagne ATMOSFER 2024

La même configuration d'instrument Pico-Light H2O-BLD a été mise en œuvre lors des deux campagnes du projet ATMOSFER (Kiruna en juin 2024 et Aire-sur-l'Adour en octobre 2024). ATMOSFER est divisé en deux parties : une campagne d'intercomparaison depuis la base CNES de Aire-sur-l'Adour et une campagne scientifique de préparation de la future mission satellitaire ESA FORUM à Kiruna.

A Kiruna, deux instruments ont été mis en œuvre par l'équipe DT/GSMA. Les deux hygromètres ont été lâchés à 10h d'intervalle autour du vol BSO (ballon

stratosphérique ouvert) ATMOSFER. A bord du BSO, l'instrument FIRMOS-B (CNR, Italie), démonstrateur ballon du futur instrument satellite FORUM, mesurait des radiances dans l'infrarouge lointain. Il était accompagné de différents compteurs de particules (OPCs) et d'imageur de cristaux de glace (instrument NIXE-B, FZ Julich, Allemagne). Les hygromètres NOAA FPH et CFH (Cryogenic frost-point hygrometer, opéré par l'équipe de FZJulich) ont aussi été lancés à quelques minutes d'intervalle avec Pico-Light H2O. Les mesures de ces hygromètres ont pu être intercomparées (pour référence et validation) et fournissent la répartition verticale de la vapeur d'eau afin d'évaluer les capacités de l'instrument FIRMOS-B à restituer des profils verticaux de vapeur d'eau. La comparaison entre Pico-Light H2O et NOAA FPH montre un accord moyen de $2.2 \pm 6.3\%$, très semblable aux résultats obtenus pendant AsA 2022.



Figure 145 : A gauche, assemblage intégrations et tests des 2 instruments Pico-Light H2O-BLD. A droite, lâcher durant la seconde session.

Les vols de cette campagne sont précieux pour les activités préparatoires à la mission FORUM puisqu'une diversité de conditions atmosphériques a été rencontrée : présence de cirrus de glace dans la haute troposphère, d'aérosols d'origine volcanique dans la stratosphère et d'une couche d'aérosols à 11 km liée à des feux de forêt au Canada.

La seconde partie de ATMOSFER consistait en une campagne d'intercomparaison depuis la base CNES de Aire-sur-l'Adour. Du fait de conditions météorologiques difficiles et de problèmes d'organisation interne au CNES, seule une session de lâchers a pu être réalisée. Le reste des vols est prévu à l'automne 2025. Les premiers résultats de cette

portion de campagne sont néanmoins d'intérêt. Les instruments participants sont : Pico-Light H2O, Micro-hygromètre (LPC2E), FLASH-B/AZOR (LATMOS/CAO) pour H2O/aérosols, POPS/LOAC (LPC2E) pour aérosols. L'instrument sol LHR (Laser Heterodyne Radiometer) a aussi participé à la campagne avec l'objectif de valider la restitution des profils verticaux de l'instrument qui est en développement.

2.43.4. Perspectives

Côté technique :

Le prochain développement instrumental va concerner la mesure du méthane avec une cellule multipassage compacte. Il s'agira principalement d'un travail de conception et d'études mécaniques pour proposer une structure d'injection du faisceau laser qui puisse tenir les conditions atmosphériques de vol sous ballon. Cela permettra de disposer alors d'un parcours équivalent de plus de 15 m sur une cellule compacte de 20 cm de diamètre. Un premier setup a été validé en laboratoire (ci-dessous).

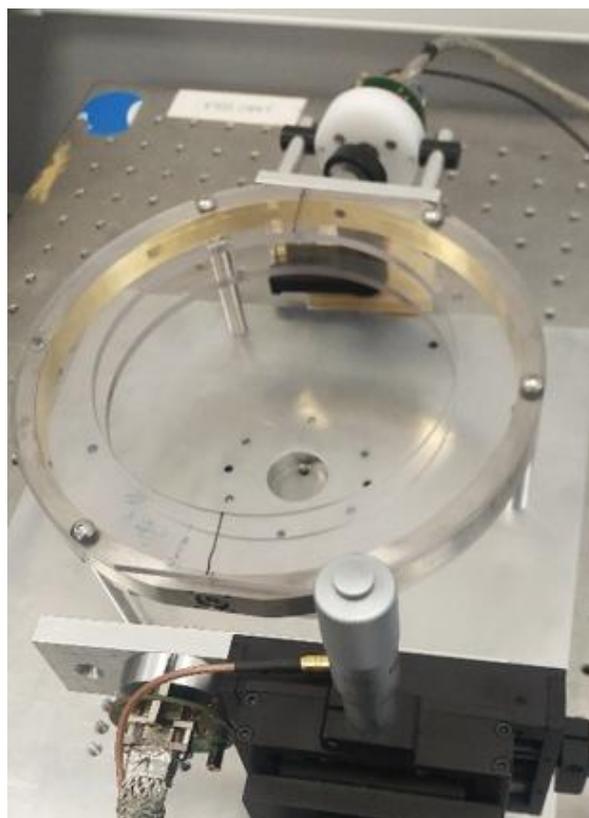


Figure 146 : Photo du setup

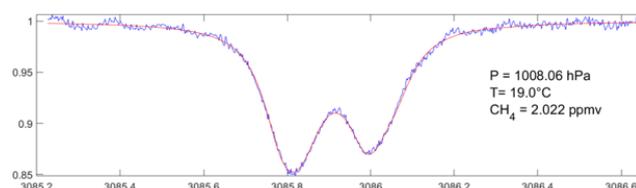


Figure 147 : Traitement du spectre et restitution de la concentration en CH₄

Coté scientifique / campagnes :

Les instruments Pico-SDLA ont fait l'objet d'intenses effort de validation, à travers des intercomparaisons sous ballon ou en chambre de simulation. Les instrument Pico-SDLA standard ont été de nombreuses fois impliqués dans des campagnes scientifiques. Les nouveaux instruments développés sur la période 2020-2025 ont suivi ce processus de validation qui nous permet d'avoir confiance quant aux capacités des instruments. A ce titre, ces nouveaux Pico-SDLA seront mobilisés pour participer à des campagnes scientifiques d'observation.

Stratéole-2 verra son achèvement par la réalisation de la seconde campagne fin 2026. Quatre instruments Pico-SDLA bi-gaz-STRAT y seront mis en œuvre (3 H₂O/CO₂ et 1 H₂O/CH₄) pour des vols en zone d'altitude de 18-20 km. Cette campagne sera comparable à celle réalisée fin 2021.

DEEP CONVECT est une campagne d'observation de la tropopause tropicale avec un fort intérêt pour la convection profonde, les ondes de gravité qui sont produite par ces systèmes et pour les cirrus de glace qui sont favorisés par les ondes. DEEP CONVECT est une campagne d'envergure, qui rassemblera une vingtaine d'équipes dans le monde (Etats-Unis, Brésil, Europe) et qui impliquera 34 instruments sous avion (WB-57 NASA), ballons et au sol.

La mesure de vapeur d'eau stratosphérique est d'intérêt majeur pour les modèles climatiques qui sont développés par les équipes brésilienne et chilienne. DEEP CONVECT est un catalyseur à des collaborations sur le long terme avec ces équipes, notamment pour ce qui concerne l'instrument Pico-Light H₂O, avec une possibilité pour des vols de collaboration en Amérique du Sud.

Au-delà des campagnes et collaborations scientifiques, les instruments Pico-SDLA sont des instruments d'intérêt pour l'intégration dans des infrastructures de recherche, par exemple au sein de l'infrastructure aéroportée IN AIR en France et potentiellement de la future infrastructure européenne AIRLIFTS (en projet) pour des vols réguliers sous ballon. Dans ce cadre, des développements autour de l'autonomisation des routines de traitement des spectres sont à envisager par l'équipe scientifique.

Personnel DT impliqué :

Nadir Amarouche : chef de projet, développements électroniques & logiciel embarqué, AIT.

Jean-Christophe Samaké : conception et développements mécaniques, AIT.

Fabien Frerot : développements électroniques, AIT.

Hervé Barrois : carte CPU version STRATEOLE.

Yoran Raynaud (CDD 18 mois) : développement instrumental et AIT Pico-SDLA STRATEOLE.

Benjamin Laurent (stagiaire BUT Mesures Physiques) : AIT Pico-SDLA STRATEOLE.

Christophe Berthod : calculs de structures et études thermiques.

Contact :

nadir.amarouche@cns.fr

2.44. Pirata

Etalonnage et maintenance des capteurs Carioca sur les bouées du réseau Pirata.

Laboratoire demandeur : LOCEAN.

Chercheuse responsable : Nathalie Lefèvre.

2.44.1. Objectifs scientifiques

Les objectifs sont multiples :

- Quantification du flux de CO₂ à l'interface air-mer de l'Atlantique tropical.
- Etude de sa variabilité et compréhension des mécanismes responsables de cette variabilité.
- Etude de l'évolution à long terme de cette source de CO₂ pour l'atmosphère pour pouvoir prédire le flux air-mer de CO₂.

2.44.2. Description technique

La DT-INSU a développé des capteurs de pCO₂ colorimétriques de type Carioca afin de les adapter aux contraintes des bouées Pirata.

Ces capteurs effectuent des mesures horaires de pCO₂, température, oxygène et pression atmosphérique. Les données sont transmises en quasi temps réel par satellite Argos.

2.44.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Deux bouées Pirata en Atlantique équatorial sont équipées de capteurs de pCO₂ et O₂ depuis 2006. Les capteurs sont permutés une fois par an lors des campagnes Pirata et renvoyés à la DT-INSU afin d'y être maintenus et ré-étalonnés.



Figure 148 : Mise à l'eau d'une bouée Pirata équipée d'un capteur pCO₂

Au cours de la période 2020-2024, 8 déploiements de bouées Pirata équipées de capteurs pCO₂ ont été effectués.

2.44.4. Perspectives

Les observations CO₂ sur les bouées Pirata ont été labellisées par l'INSU comme extension CO₂ à l'observatoire Pirata. Le but est de poursuivre ces observations à long terme.

Publications :

- Lefèvre N., Mejia C., Khvorostyanov D., Beaumont L., Koffi U., « Ocean Circulation Drives the Variability of the Carbon System in the Eastern Tropical Atlantic. *Oceans* 2021, 2, 126–148. <https://doi.org/10.3390/oceans2010008>
- Lefèvre N., Veleda D. and Beaumont L., « Trends and drivers of CO₂ parameters, from 2006 to 2021, at a time-series station in the Eastern Tropical Atlantic (6°S, 10°W) ». *Front. Mar. Sci.* 11:1299071, 2024. Doi: 10.3389/fmars.2024.1299071

Personnel DT impliqué :

Benoit Arnold, Laurence Beaumont.

Contact :

laurence.beaumont@cnr.fr

2.45. Polar Pod

Laboratoire demandeur : LOPS UMR6523.

Chercheur responsable : Peter Sutherland.

2.45.1. Objectifs scientifiques

Le Polar Pod est une plateforme de 100 m de haut pour 1000 tonnes, conçue pour dériver autour de l'Antarctique dans l'océan austral. Avec un fort tirant d'eau (75 m), il est prévu pour être plus stable qu'un navire océanographique, non polluant et silencieux. Une multitude de programmes scientifiques sont prévus à bord pour l'étude en continu de l'océan, de l'atmosphère, de la faune et la flore marine.

Il est prévu d'installer sur la plateforme un capteur pCO2 dissous BIOCAREX/CARIOCA, un capteur GTD PRO (pression gaz total dissous) et 4 capteurs microcats T, P, S, O2 (température, pression, salinité et oxygène dissous) sur un chapelet entre 10 m et 80 m de profondeur. Les instruments seront relevés régulièrement et communiqueront avec la plateforme via un système de communication inductif.

Les 3 capteurs pCO2 ont été financés par le CNES, les 2 capteurs GTD PRO et les 8 microcats par l'INSU.

2.45.2. Description technique

Pour ce chapelet d'instruments et pour répondre à la demande d'une transmission temps réelle, nous avons opté pour une ligne inductive qui consiste en une communication sans contact via un câble acier gainé. A notre demande, l'Ifremer a acheté le câble inductif. Pour assurer la protection, l'installation et la récupération des instruments, l'Ifremer a étudié un système de va et vient de 70 m disposé à l'intérieur de la structure verticale du Polar Pod avec des cadres pour fixer les instruments.



Figure 149 : Capteur GTD avec le modem inductif UIMM de communication sur la ligne

Les travaux menés à la DT concernent :

- L'achat de 8 microcat SBE37 I, de 2 capteurs GTD Pro Oceanus, et l'adaptation à la communication inductive du spectromètre Biocarex déjà développé à la DT.

- L'achat de 2 modems SBE UIMM de communication inductive, et de cartes IMM RS232/inductif qui font l'interface entre PC utilisateur et ligne inductive. Ces cartes ont été intégrées dans des coffrets alimentés en 220V.
- Le développement d'une IHM (Interface Homme Machine) pour la configuration et la mise en acquisition de tous les capteurs immergés sur la ligne via un modem inductif UIMM, avec une visualisation sur PC à bord de la station des mesures rafraichies une fois par heure. Tous les instruments sont resynchronisés une fois par jour par rapport à un horaire de GPS de référence dans la station. Les trames de données sont aussi transmises vers un port Ethernet UDP pour la retransmission des fichiers de données par satellite.

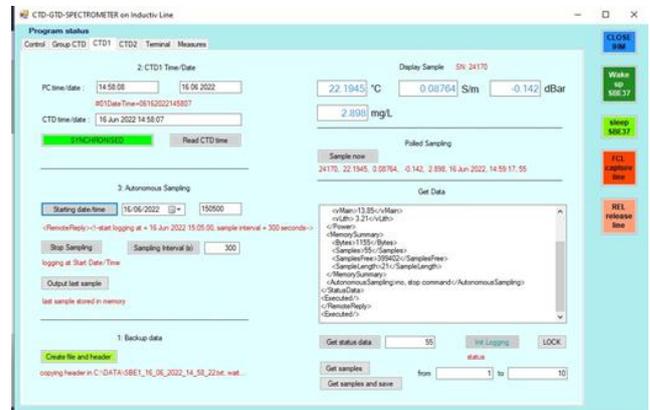


Figure 150 : Fenêtre de l'IHM comme panneau de configuration et de programmation d'une des CTD

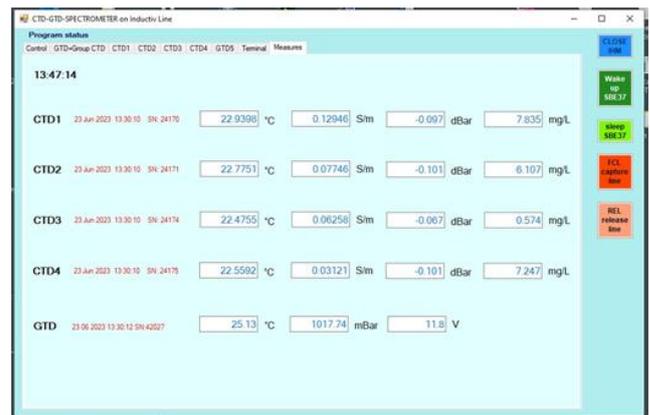


Figure 151 : Fenêtre d'affichage des mesures de tous les capteurs présents sur la ligne inductive

- La mise à jour de 3 capteurs pCO2 Biocarex pour son adaptation à la communication inductive. Cela implique la mise à jour en représentation CAO 3D de la mécanique du spectromètre, et faire réaliser les pièces composant le capteur, la remise à jour des cartes spectromètre, préampli photodiodes,

et carte cerveau du spectromètre, la programmation du code embarqué avec l'interprétation des commandes inductives, l'étalonnage des thermistances au SHOM (Service hydrographique de la marine) à Brest. L'intégration des 3 capteurs sera effectuée en 2025, ainsi que la finalisation de l'IHM incluant Biocarex.

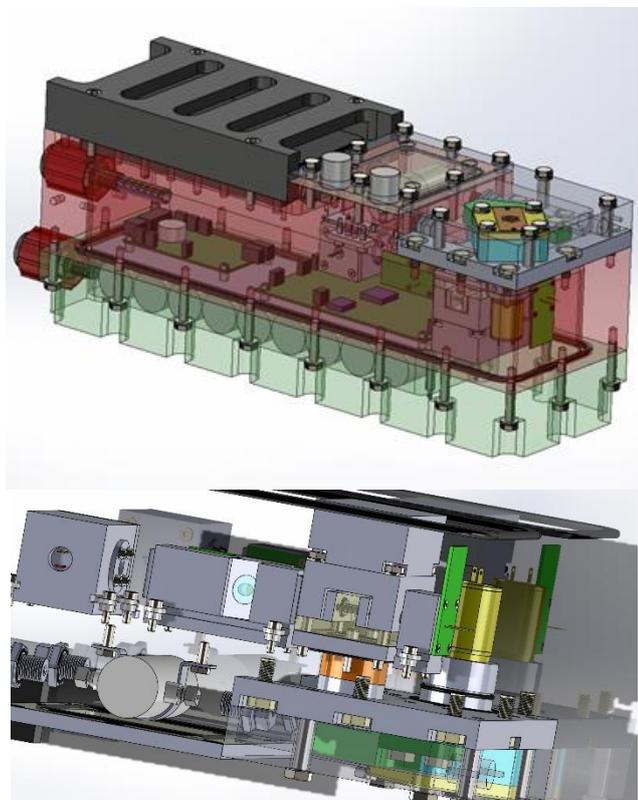


Figure 152 : Représentation 3D de la mécanique du spectromètre pCO2 Biocarex

2.45.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Etude de faisabilité, conception, développement, fabrication, assemblage, tests en laboratoire. Prévisionnel : intégration de la ligne instrumentée et essais en mer.

2.45.4. Perspectives

Utilisation sur le Polar Pod et ou sur des lignes de mouillage, bouées ou navires océanographiques.

Personnel DT impliqué :

Christine Drezen, Michel Calzas, Laurence Beaumont, Antoine Guillot.

Contact :

michel.calzas@cnrs.fr

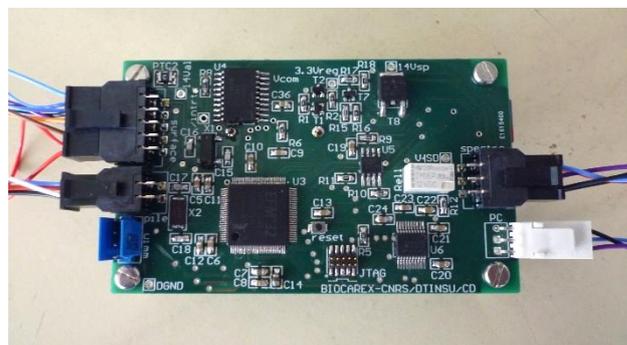


Figure 153 : Nouvelle carte cerveau de Biocarex avec option de communication inductive

2.46. PTR-ToF-MS

Laboratoire demandeur : SAFIRE.

Demandeur : Laurent Guiraud, responsable du bureau d'études et certification.

2.46.1. Objectifs scientifiques

Le LISA possède un spectromètre de masse à transfert de proton avec analyseur à temps de vol (PTR-ToF-MS) de la société Kore Technology, employé pour la mesure des composés organiques volatils. La demande de soutien de la DT-INSU concerne l'avionisation de cet instrument qui doit être opéré lors de la campagne aéroportée ACROSS-AO prévue à l'été 2022 et impliquant l'ATR-42 mis en œuvre par SAFIRE. Le but de cette campagne est d'améliorer les connaissances sur l'impact de la pollution urbaine lorsqu'elle se mélange aux émissions biogéniques environnantes.

2.46.2. Description technique

Il est nécessaire de reconditionner l'instrument dans un châssis compatible avec les contraintes mécaniques de l'avion.

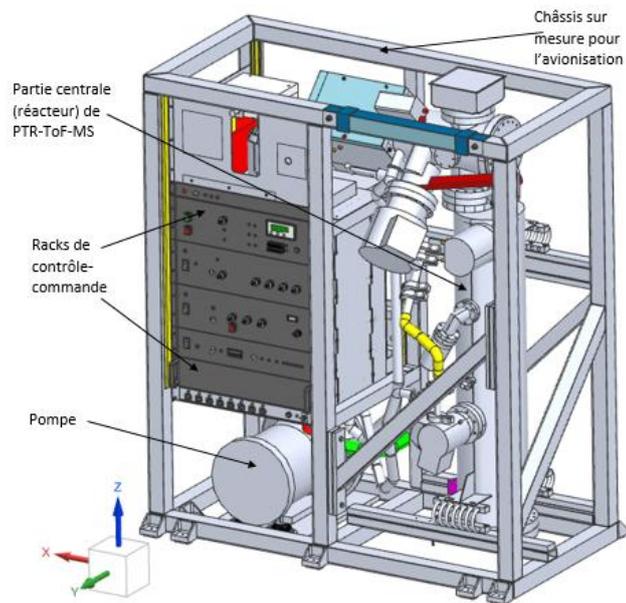


Figure 154 : Face avant du PTR-ToF-MS dans son châssis (hauteur 1,37 m) monté sur les rails de l'avion

2.46.3. Activités de la DT

Conception mécanique :

La conception de la structure a tout d'abord nécessité de scanner en 3D l'instrument existant (le réacteur du spectromètre, les racks, etc) afin de partir sur de bonnes dimensions et d'aboutir au nouveau châssis tel qu'il figure ci-dessus.

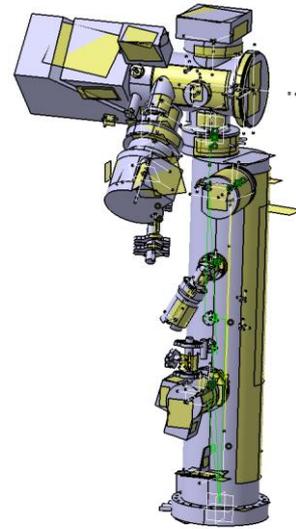


Figure 155 : Draft du scan 3D du réacteur

Calculs de structure :

La structure mécano-soudée doit être validée par une analyse de la tenue mécanique afin de s'assurer qu'elle peut satisfaire aux contraintes de sécurité liées aux facteurs de charge statique en accélération préconisés par SAFIRE.

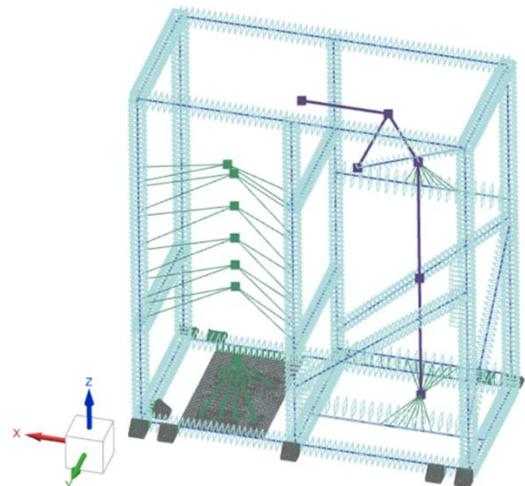


Figure 156 : Modèle éléments finis de PTR-ToF-MS basé sur un maillage avec des éléments de poutres et de masses ponctuelles

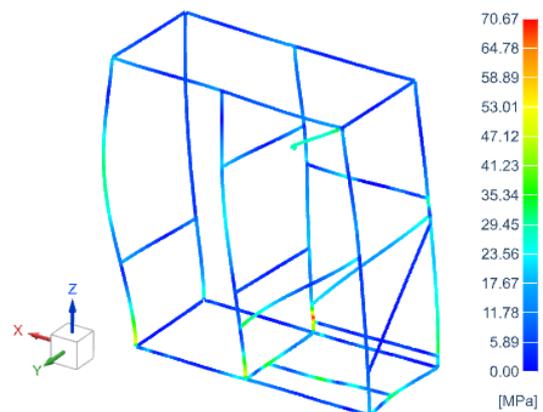


Figure 157 : Contraintes de Von-Mises dans le cas d'une accélération de 9 G

Assemblage, intégration :



Figure 158 : Montage à blanc du châssis à l'atelier de mécanique de la DT en février 2022

Personnel DT impliqué :

Nicolas Geyskens, conception mécanique.

Sandeep Kempapura Vasudeva, conception mécanique.

Aurélien Cléménçon, intégration.

Christophe Berthod, modélisation, calculs de structure.

Contact :

nicolas.geyskens@cnr.fr



Figure 159 : PTR-ToF-MS dans la cabine de l'avion en mai 2022, où il doit composer avec de nombreux autres châssis et baies

2.47. ROMARIN

ROsette for Multiple mARine sNow catchers

Laboratoire demandeur : MIO.

Demandeur : Marc Garel.

2.47.1. Objectifs scientifiques

Ce système permet de collecter des échantillons de marine snow (neige marine) dans des conditions contrôlées afin de mieux comprendre les processus naturels complexes qui se produisent dans les océans, comme la pompe biologique de carbone (PBC).

Les MSC (Marine Snow Catcher) sont les dispositifs utilisés pour récolter et étudier le marine snow, qui est une sorte de pluie organique constituée principalement de débris organiques, de plancton, de matières fécales et de restes de phytoplancton et zooplancton qui tombent du haut vers les couches profondes de l'océan.

ROMARIN est une rosette pour le déploiement simultané de 4 MSC (société OSIL). Cette méthode permet de multiplier le déploiement de MSC sans augmenter le temps bateau (compter environ 4 heures pour un cast et 1,7 k€/heure, soit 40 k€/jour, pour le temps bateau).

Il est à noter qu'un MSC collecte environ 4 mg de neige marine, d'où l'intérêt d'en déployer un maximum par station.

2.47.2. Description technique

ROMARIN est une structure en tubes d'acier qui permet d'y intégrer un pylon (moteur) de CTD, 4 MSC, 1 UVP6 et 1 balise de positionnement. En plus de l'utilisation d'un acier inoxydable 316L, la protection cathodique est assurée par un revêtement époxy obtenu par thermolaquage, complété par des anodes sacrificielles.



Figure 160 : Déploiement de ROMARIN durant la campagne APERO

Elle est conçue sur le modèle des carrousels CTD et peut être opérée/déployée avec un câble porteur ou électro-porteur, le modèle de pylon retenu étant télé-opérable et programmable.

A la demande des chercheurs, la manipulation des tubes des MSC (env. 40 kg) est facilitée par l'ajout de ressorts qui peuvent retenir le tube en position haute lors de la récupération de l'échantillon.

2.47.3. Activités, campagnes, déploiements ou expériences

Campagne APERO du 2 juin au 17 juillet 2023, déploiement sur 5 super stations et 34 casts, équivalents à 136.

Il est à noter qu'entre un planning serré et les dimensions hors normes de ROMARIN, APERO a également servi de campagne de test in natura (TRL 7).

2.47.4. Perspectives

La campagne APERO a également mis en évidence quelques améliorations mineures à apporter à la structure, comme augmenter sa rigidité.

L'écoulement de l'eau à l'intérieur des MSC durant la remontée interroge les scientifiques. Une simulation numérique de l'écoulement (C. Berthod, DT à Gif-sur-Yvette) permettrait de connaître l'efficacité du rinçage durant la remontée de l'instrument. Le résultat de cette étude pourrait nous amener à concevoir un nouveau modèle de MSC. Ces développements sont actuellement en standby, ROMARIN n'étant actuellement pas la priorité immédiate des équipes scientifiques.

Publications :

Conférences internationales et nationales :

- « Microbial activity and diversity on attached and free-living particles in the mesopelagic zone: use of the marine snow catcher and sediment traps to assess the discrepancy of the C into the ocean ». Pauline Le Coq et al., OSM 2024, Nouvelle-Orléans, LA, USA, février 2024.
<https://agu.confex.com/agu/OSM24/prelim.cgi/Paper/1481908>
- « Sinking velocity of marine particles during the APERO cruise: ex-situ observations and models ». Emmanuel Laurenceau-Cornec, Chloe Baumas, Marc Long, Simon Ramondenc, Fred Le Moigne, and others. Post-Cruise meeting APERO, Toulon, 14-16 mai 2024.

- « Catching a ride: Quantifying microbial activity and carbon cycling on sinking mesopelagic particles using nanoSIMS ». Chloe Baumas, Fred Le Moigne, Anne Dekas and others. Post-Cruise meeting APERO, Toulon, 14-16 mai 2024.

Thèses :

- Méava Gesson, UBO, LEMAR, décembre 2024.
- Pauline Le Coq, AMU, MIO, 2025.

Papiers (en préparation) :

- Le Coq et al., « Microbial activity and diversity on attached and free-living particles in the mesopelagic zone: use of the marine snow catcher and sediment traps to assess the discrepancy of the C into the ocean ».
- Laurenceau-Cornec, Le Moigne, Baumas, et al., « Marine snow sinking velocities ».
- Ramondec, Iversen et al., « Marine snow respiration ».



Figure 161 : L'équipe scientifique APERO pose devant ROMARIN

Personnel DT impliqué :

Cédric Brachet, Arnaud Le Ridant, Grigor Obolensky, Emmanuel de Saint Léger.

Contact :

cedric.brachet@cns.fr

2.48. Station benthique

Laboratoire demandeur : LSCE.

Demandeur responsable : Christophe Rabouille.

2.48.1. Objectifs scientifiques

Les deltas sont des systèmes côtiers se situant à l'interface entre continent et océan, soumis à de fortes et rapides variations environnementales, et à la confluence de nombreux échanges d'énergie et de matière. Ce sont des lieux privilégiés de dépôt de matière particulaire organique et inorganique apportée par les fleuves. Près de l'interface eau-sédiment, le carbone organique est minéralisé de manière aérobie, générant ainsi de fortes demandes en oxygène (en anglais, DOU : Diffusive Oxygen Uptake).

La station benthique est un outil de mesures in situ permettant de réaliser des séries spatiotemporelles des profils d'oxygène au sein des sédiments côtiers. Elle nous permet d'étudier la variabilité spatiale centimétrique, saisonnière et annuelle des DOU, ainsi que la réponse à micro échelle de la minéralisation benthique de la matière organique à des événements extrêmes tels que des crues et des tempêtes.

2.48.2. Description technique

Cette station est constituée de plusieurs éléments :

- Les 3 batteries de 40 Ah chacune pour tenir pendant 2 mois en autonomie complète.
- Sonde Wimo, système autonome d'acquisition et d'enregistrement de plusieurs paramètres environnementaux (turbidité, température, salinité, oxygène dissous et pression) de la société NKE qui sert à détecter les conditions environnementales particulières (événements) pour ensuite effectuer un échantillonnage à haute fréquence.
- Le profileur qui se compose de 6 optodes d'oxygène et une électrode de résistivité.
- L'unité de contrôle est constituée d'un caisson étanche contenant toute l'électronique de contrôle et de commande.

Un PC portable, contenant le programme Interface Homme Machine (IHM) et connecté à la station, permet de faire des tests et de configurer la station (mode on-line) et aussi de lancer le programme embarqué avant mouillage (mode off-line).

2.48.3. Activités de la DT, campagnes

La période de 2008 à 2014 correspond à la phase de développement et d'intégration de l'appareil. Dès 2013, des problèmes de fonctionnement sont

apparus, liés à la fragilité des capteurs de type électrodes en verre (inadaptés au déploiement à long terme) et à l'usure prématurée du matériel due aux conditions marines difficiles dans le delta du Rhône.

Durant la période 2014 à 2016, la station a participé à plusieurs campagnes installées sur la station Mesurho près de l'embouchure du Rhône.

De 2017 à 2019, la station a connu une refonte mécanique et technique, notamment avec le passage aux micro-optodes en fibre optique, offrant ainsi une meilleure longévité des capteurs.

Depuis 2020, la station a réalisé plusieurs campagnes, avec des résultats variables en fonction des conditions environnementales et des limitations techniques rencontrées.



Figure 162 : Mise à l'eau de la station benthique près de l'embouchure du Rhône

2.48.4. Perspectives

Une refonte complète de l'électronique de contrôle est envisagée pour pallier l'obsolescence du matériel actuel et garantir la fiabilité des futures campagnes.

Personnel DT impliqué :

Oualid Aouji : coordination projet, conception et développement des cartes électroniques, intégrations, informatique IHM.

Gilles Buchholtz : informatique embarquée.

Alexandre Blin : conception mécanique.

Aurélien Cléménçon, Benoît Lemaire : réalisations mécaniques.

Contact :

oualid.aouji@cnsr.fr

2.49. STRATEOLE 2

Laboratoires associés : LMD (Palaiseau), CNES (Toulouse et Aire-sur-l'Adour), LATMOS (Guyancourt).

Chercheur responsable : Albert Hertzog.

2.49.1. Objectifs scientifiques

Le projet s'articule autour de campagnes d'observations, précédées d'une campagne probatoire, dans la tropopause et la basse stratosphère équatoriale avec des ballons pressurisés stratosphériques emportant des instruments conçus dans différents laboratoires en France, aux Etats-Unis et en République tchèque.

Ils permettent de documenter les processus dynamiques et microphysiques intervenant dans le couplage troposphère/stratosphère aux basses latitudes, de caractériser la qualité des modèles météorologiques opérationnels dans les tropiques, ainsi que de contribuer aux activités de calibration/validation d'instruments satellitaires (par exemple ADM/Aeolus, EarthCare).

2.49.2. Description technique

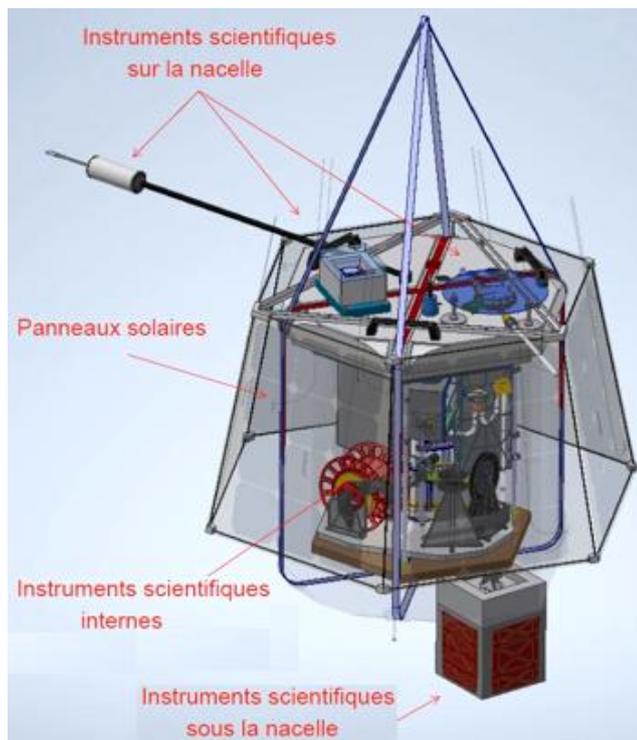


Figure 163 : Nacelle Zéphyr standard monobloc

Pendant les vols, les instruments sont intégrés dans la Nacelle Charge Utile (NCU) Zéphyr qui assure les fonctions de plate-forme : intégration mécanique, isolation et contrôle thermique, localisation et datation des observations, fourniture de l'énergie, télémesures et télécommandes. La NCU doit être

capable de fonctionner de manière autonome pendant 3 mois, en environnement stratosphérique.

2.49.3. Activités de la DT, campagnes

La Division Technique de l'INSU a été chargée de la conception mécanique, structurelle et thermique de la NCU Zéphyr.

Chronologie des campagnes :

Plusieurs points clés de qualification se sont tenus depuis novembre 2018, aboutissant à l'autorisation de la campagne probatoire pour la fin de l'année 2019 et à la production de l'ensemble des nacelles pour les 2 campagnes scientifiques prévu fin 2021 et initialement fin 2024, reporté à fin 2026.

Campagne probatoire, hiver 2019-2020, 8 vols, 680 jours de vol :

Huit vols lancés des îles Seychelles ont eu lieu de novembre 2019 à mars 2020. Il y a eu 680 jours de vol, soit environ 3 mois de vol par ballon. Le vol le plus long a été de 107 jour au niveau de l'équateur.

Suite à cette campagne probatoire, le projet Stratéole 2 est passé en phase E à la fin de l'année 2019. Un point clé de qualification en vol s'est tenu début mai 2020 et a permis de prononcer la qualification des différents systèmes, et a ainsi décidé d'engager les opérations pour les deux campagnes scientifiques (20 vols fin 2021 et 24 vols d'abord fin 2024 et décalés fin 2026).

Campagne scientifique n°1, hiver 2021-2022, 17 vols, 632 jours de vol :

Le premier ballon de la campagne scientifique 2021 a été lancé le 19 octobre 2021. Il y a eu 632 jours de vol pour 17 vols, soit environ 40 jours de vol par ballon. Le dernier ballon a fini son vol le 25 janvier 2022 après 71 jours de vol au niveau de l'équateur. Malheureusement 12 ballons ont été rejetés (risque d'éclatement), ne permettant pas de lâcher les trois dernières nacelles contenant les nouveaux instruments de la campagne. Un vol sous BSO est envisagé au Canada à Timmins pour qualifier les instruments qui n'ont pas pu voler.

L'analyse approfondie de cette première campagne scientifique a eu lieu le 20 avril 2022. Il y a eu des anomalies au cours de ces vols (problème de qualité des ballons), ce qui a mis fin prématurément à 7 vols et n'ont permis que 17 lâchers au lieu des 20 prévus. La seconde campagne scientifique, initialement prévue fin 2024, a été repoussée fin 2026 afin de résoudre les problèmes apparus sur les ballons en 2021.

Campagne scientifique n°2 :

Elle aura donc lieu durant l'hiver 2026-2027.

Vols sous ballons stratosphériques ouverts (BSO) :

Un premier vol sous BSO a eu lieu au Canada à Timmins en 2022 pour qualifier les instruments qui n'ont pas pu voler. En juin 2024, un nouveau vol sous BSO a eu lieu à Kiruna en Suède, permettant d'optimiser plusieurs instruments. Pour cela nous avons préparé une configuration spéciale avec 8 instruments (plus de contrainte de poids serré) et l'avons intégré dans une nacelle du CNES.



Figure 164 : Nacelle de BSO à Kiruna en 2024

Evolutions des campagnes :

Les contraintes de masse embarquée sous ballons pressurisés sont telles qu'il est impossible de faire voler l'ensemble des instruments scientifiques sur tous les vols. C'est pourquoi quatre combinaisons d'instruments ont été identifiées pour la campagne probatoire. Elles permettent de réaliser les objectifs scientifiques du projet. Ces combinaisons conduisent à autant de configurations de NCU, sachant que l'objectif de masse totale visée pour une NCU Zéphyr est de 22 kg.

Suite aux différentes campagnes, plusieurs laboratoires se sont manifestés pour intégrer des nouveaux instruments et huit nouvelles configurations de nacelles ont été d'abord définies. Les demandes se précisant, nous sommes passés à onze configurations différentes.

Personnel DT impliqué :

Joseph Spatazza, conception mécanique.

Guillaume Lorgeoux, conception mécanique (CDD jusqu'à mars 2020).

Christophe Berthod, simulations numériques.

Contact :

joseph.spatazza@cns.fr

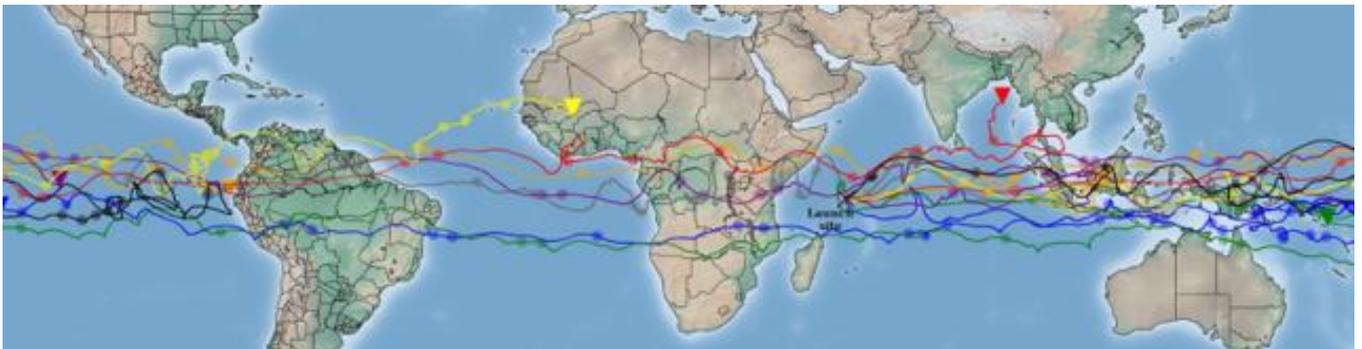


Figure 165 : Trajectoires des ballons lors de la campagne probatoire de 2019/2020

2.50. Terra Forma

Laboratoire demandeur : Géosciences Rennes (porteur Equipex + Terra Forma).

PI : Laurent Longuevergne.

Cheffe de projet : Virginie Girard.

2.50.1. Objectifs scientifiques

Le projet Terra Forma (2021-2029), proposé par le réseau eLTER France composé des infrastructures de recherche OZCAR et RZA, vise à concevoir et tester le prototype d'une nouvelle génération d'observatoires des socio-écosystèmes (ou zone critique), adapté aux enjeux scientifiques et sociétaux du nouveau régime climatique qui caractérise l'Anthropocène. Le projet consiste à développer une plateforme d'observation des territoires qui porte le déploiement d'approches systémiques. Il se résume en trois axes de recherche :

- Axe 1. Développer de nouvelles générations de capteurs de l'environnement pour déterminer des trajectoires et mieux saisir à différentes échelles de temps et d'espace les interdépendances entre les collectifs qui composent les socio-écosystèmes.
- Axe 2. Concevoir des réseaux de capteurs, à la fois communicants, modulaires et agiles, pour recueillir les données répondant aux problématiques environnementales des territoires. La simultanéité des mesures nécessitera des efforts de co-déploiement

sans précédent sur des sites pilotes. Les solutions inspirées de l'internet des objets seront adaptées. La mise à disposition des données au format FAIR pour l'ensemble des parties prenantes sera assurée en lien avec les pôles de données.

- Axe 3. Engager des collectifs à cette nouvelle observation des territoires à concevoir de nouvelles modalités de partage et d'appropriation des données par les citoyens et les décideurs.

2.50.2. Description technique

La partie technique de ce projet se situe principalement dans ses Work Packages 2 « développement de nouveaux capteurs » et 3 « réseau de capteurs intelligents ».

Le WP2 regroupe de nombreux développements instrumentaux en cours dans différents laboratoires à des stades d'avancement très hétérogènes (de la preuve de concept au prototype en test sur le terrain) et dans des montages variés (uniquement académique ou en collaboration avec un industriel, de façon formelle ou non). Pensés pour un fonctionnement autonome, tous ces instruments n'intègrent pas forcément de télécommunication. Terra Forma vise à promouvoir la remontée en temps réel d'informations du terrain en développant une infrastructure de communication facile à déployer sur une zone d'étude de plusieurs kilomètres. C'est l'objet du WP3.

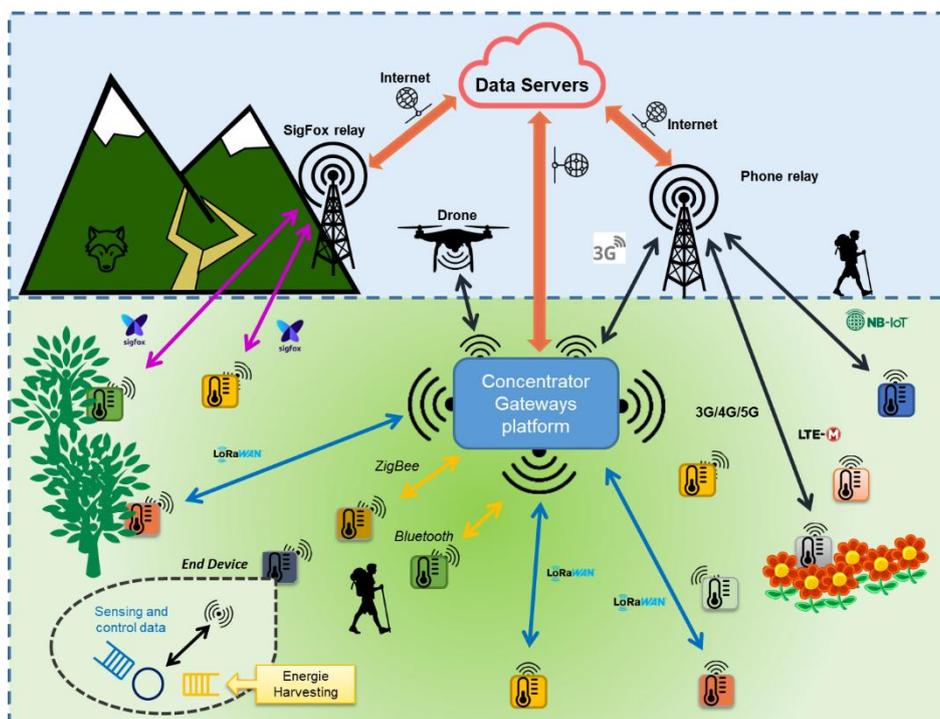


Figure 166 : Infrastructure de télécommunication projetée d'un observatoire Terra Forma

Il y a également la volonté de créer un parc instrumental mettant à disposition tous ces capteurs pour instrumenter des zones d'intérêt (observatoires), d'où le besoin de produire des séries de ces instruments.

2.50.3. Activités de la DT

La demande initiale concernait une assistance à la gestion de projet et une expertise en instrumentation de terrain et moyens de communication associés, pour accompagner les WP2 et 3. Il était entendu dès le début que cette activité de conseil pouvait déboucher au cours du projet sur une participation plus technique dans des développements spécifiques.

La DT-INSU participe au COMEX mensuel du projet depuis le début et s'est immédiatement vue attribuée l'axe transverse Entreprises et Industrialisation, dans l'optique de préparer avec les porteurs de chaque développement la duplication de leur instrument. Dans cette optique, elle a conseillé le recours au marché contrôle qualité de l'INSU pour bénéficier d'un qualitatif.

Lors du marathon de lancement de Terra Forma (série de webinaires de présentation des différentes thématiques du projet sur le premier semestre 2022), la DT a fait une présentation des montages de marchés publics déjà utilisés pour de l'instrumentation, comme le partenariat d'innovation.

Les premières rencontres Terra Forma (11-13 mai 2022 à Saint-Jacut) ont été l'occasion de rencontrer physiquement la plupart des porteurs de développements, ce qui a facilité les échanges à distance ultérieurs.

Au second semestre 2022, a commencé la définition d'une documentation projet adaptée au contexte de cette communauté peu habituée aux procédures des grands projets instrumentaux. Un modèle de Cahier des Spécifications Techniques (CST) a été élaboré puis testé sur l'instrument Hymenet de l'IPGP qui était déjà quasi finalisé. L'objectif de ce document était de préfigurer les Cahiers de Clauses Techniques Particulières nécessaires au lancement d'appels d'offres pour la fabrication en série des instruments et de préparer les porteurs de ces développements aux contraintes de formalisation qu'imposerait le travail avec l'industrie.

Les réflexions sur la déclinaison pratique des objectifs du projet ont fait émerger deux groupes de travail.

Un sur la ressourcerie, base de données techniques où seraient regroupés tous les instruments ou briques

instrumentales développés dans Terra Forma, pour les mettre à disposition de la communauté en vue de développements futurs ou simplement pour les dupliquer (volet science ouverte). L'avancement de la réflexion a débouché sur une demande de soutien à la DT-INSU pour rédiger le cahier des charges informatique du besoin fonctionnel exprimé, en préparation du développement de l'outil lui-même. Ce travail, débuté en 2024, a entraîné d'autres réflexions toujours en cours sur la façon d'évaluer la qualité des documents déposés et la reproductibilité du développement qu'ils décriraient.

Un autre groupe de travail ayant pour objet la standardisation est animé par la DT. Initialement, ce GT a été créé pour d'identifier des éléments techniques visant à faciliter la maintenance et l'interfaçage entre les équipements Terra Forma : source d'énergie, choix mécaniques, communication, etc. L'objectif de cette démarche est d'émettre des recommandations pour aider les développeurs à répondre aux enjeux de maintenance et duplication du projet. En 2024, le groupe a focalisé son activité sur les méthodes de suivi des futurs instruments (évaluation des outils existants, adaptation à Terra Forma, parties à développer).



Figure 167 : Premiers test de capteurs sur le terrain à Auradé (32) en mai 2023

Pour faciliter la rédaction des CST, la DT a proposé dès la fin 2022 d'en prendre en charge la rédaction, au moins pour la première version, à partir d'échanges avec les développeurs. L'utilisation de Resana pour regrouper la documentation projet a facilité le travail collaboratif sur l'élaboration de ces documents. Un webinaire sur la Qualité Assurance Produit a été proposé début 2023 pour expliquer à tous la démarche dans laquelle nous nous plaçons. Il a été annoncé que la rédaction des CST et d'un certain nombre d'autres documents projet aboutirait à une revue pour chaque développement devant un groupe

d'experts extérieurs, thématiciens et technologues, ces derniers étant pressentis parmi les collègues non impliqués de la DT.

Cette phase d'échanges autour de la rédaction des CST a été fortement impactée par le déménagement de la DT depuis Meudon sur le campus de Gif-sur-Yvette, en configuration dégradée dans des locaux de transit sur l'année 2023 ; les revues de projets n'ont pu commencer qu'en 2024.

Le travail de la DT sur les CST a énormément clarifié l'état réel d'avancement de chaque développement et ce qui pouvait être espéré à la fin du projet Terra Forma. Partis de huit thématiques qui couvraient une quinzaine d'instruments, nous avons finalement documenté plus d'une vingtaine de « produits de recherche » et fait apparaître le besoin d'un CST d'observatoire Terra Forma à élaborer en concertation avec les responsables des sites pilotes. Il ressort également le besoin d'imaginer de nouveaux processus de fabrication des instruments développés en science ouverte, que ce soit à travers la collaboration avec des tiers lieux ou l'identification d'entreprises qui acceptent de jouer le jeu de l'open source.

La DT a participé aux journées Terra Forma 2023 pendant lesquelles certains prototypes d'instruments ont été confrontés au terrain sur le site pilote d'Auradé, puis aux journées 2024, avec une nouvelle confrontation d'instruments au terrain et un premier déploiement d'infrastructure LoRaWan autour des éléments préexistants du Jardin du Lautaret. Ces rencontres ont été l'occasion d'échanges avec l'équipe très motivée de cette UMR, échanges qui ont précisé la façon de travailler avec les exploitants des futurs observatoires.



Figure 168 : La DT présente l'avancement de ses tâches aux journées Terra Forma 2024 à Grenoble

Publication :

Laurent Longuevergne, Arnaud Elger, Marie-Noëlle Pons, Laurent Royer, Maryse Carmes, Isabelle Braud, Olivier Charade, Virginie Girard, « Terra Forma : une plateforme d'observations socio-environnementales

au service des enjeux de territoire », 6ème colloque du Réseau des Zones Ateliers CNRS, 17-19 avril 2024, hal-04840953.

Personnel DT impliqué :

Olivier Charade, Matthieu Freichey, Elodie Godinho, Nadir Amarouche, Karim Bernardet.

Contact :

olivier.charade@cnrs.fr

3. Les parcs

3.1. La flotte du CNRS

3.1.1. Objectifs scientifiques

La flotte de station du CNRS est partie intégrante de la Très Grande Infrastructure de Recherche « Flotte Océanographique Française » (TGIR FOF). Cette TGIR, créée en 2008, a pour but de permettre l'accès à tous les océans et mers du globe, hors zone polaire, aux activités de recherche. Les navires côtiers et de station permettent d'assurer un continuum avec les zones côtières et littorales.

La TGIR FOF regroupe les moyens navals du CNRS, de l'Ifremer, de l'IPEV et de l'IRD. Elle occupe une place de premier rang sur la scène internationale, de par la qualité des publications issues des campagnes océanographiques, le niveau de performance de ses moyens et l'avance significative dans certains segments innovants comme les systèmes sous-marins et le carottage sédimentaire profond.

En mars 2011, l'UMS Flotte Océanographique Française a été créée, commune au CNRS, à l'Ifremer, à l'IPEV et à l'IRD. Elle a assuré la gouvernance de la TGIR FOF. L'année 2018 aura été une année remarquable pour la Flotte Océanographique

Française : l'unification de cette très grande infrastructure de recherche est devenue une réalité, avec la mise en place de la direction de la Flotte qui regroupe désormais au sein de l'Ifremer, et au bénéfice de tous les acteurs, l'ensemble des personnes et des moyens nécessaires au bon fonctionnement et au développement de cette infrastructure.

La gouvernance est opérationnelle depuis plusieurs années. Constituée de représentants du CNRS, de l'Ifremer, de l'IRD et du réseau des universités marines, le Comité Directeur s'est réuni à de nombreuses reprises, et les commissions nationales d'évaluation des flottes hauturière et côtière sont renouvelées tous les 4 ans. Le Conseil Scientifique de la TGIR a été également constitué : il a été ouvert à l'international et a tenu également plusieurs réunions ces dernières années.

3.1.2. Description technique

La flotte du CNRS opérée par la Division Technique de l'INSU est composée de sept navires de station : Antédon II (Marseille), Sépia II (Wimereux), Néréis II (Port Vendres), Néomysis (Roscoff), Albert Lucas (Brest), Planula IV (Arcachon), Sagitta III (Villefranche sur mer).



Figure 169 : Localisation des 7 navires de station du CNRS sur les trois façades

Les navires de station sont opérés par la Division Technique de l'INSU et coordonnés par les OSU ou les stations marines selon les cas. L'accès à un navire était jusqu'à présent régi par des procédures locales. L'entrée dans le périmètre du TGIR a nécessité la mise en place d'une procédure nationale garantissant l'accès à l'ensemble de la communauté scientifique sur le territoire national.

3.1.3. Activités des navires

Les navires de station du CNRS sont intégrés au TGIR FOF, néanmoins ils ont conservé leurs particularités, une souplesse et une réactivité concernant la programmation des sorties en mer.

Un mode de gestion adapté pour ces navires dont la vocation première est l'utilisation pour de courtes durées, souvent la journée, dans des zones géographiques limitées à un rayon d'action en mer de 20 miles de la station. Les missions de ces navires sont de quatre types :

- Recherche
- Enseignement
- Observation
- Technologie

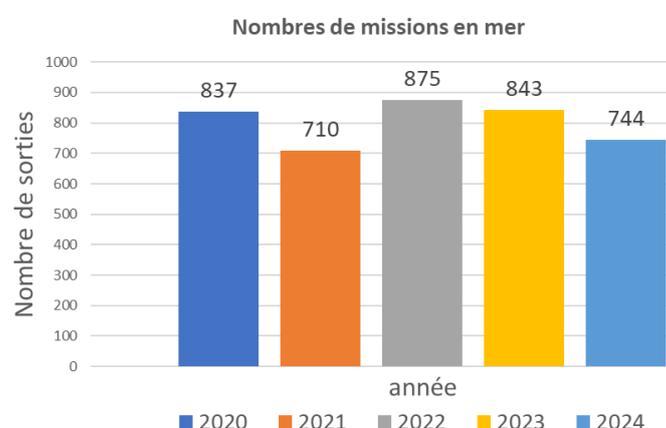


Figure 170 : Nombre de missions cumulées des 7 navires par année



Figure 171 : Missions de recherche à bord du Néomysis au large de Roscoff



Figure 172 : Missions d'enseignement à bord du Néomysis au large de Roscoff

Les modalités d'accès des navires de station :

- Accessibilité des navires de station – Appel d'offres à campagnes.
- Accessibilité permanente à la communauté scientifique nationale.
- Accès aux navires fait par un appel d'offres national semestriel.
- Dossier de campagne simplifié (1-2 pages pour campagnes <5 jours/semestre et 4-5 pages maxi pour campagnes > 5 jours/semestre).
- Evaluation des campagnes pluriannuelles répétitives une fois tous les quatre ans avec conservation du classement.

Une liste des navires de station concernés, de leurs gestionnaires locaux et de leurs rayons d'action est disponible sur le site internet de la Flotte Océanographique Française.

3.1.4. Perspectives

Dans un contexte budgétaire extrêmement contraint, la flotte, de façon impérative, doit faire face à brève échéance à la fin de vie de certains navires et à l'obsolescence de certains équipements. Un plan de renouvellement de la flotte a été établi et lissé sur les prochains triennaux en concertation entre les organismes membres de la TGIR et la DGRI. Ce plan, afin de rester dans une épure raisonnable en termes d'investissement dans les prochaines années, privilégie la prolongation de vie ou la modernisation des navires au détriment d'infrastructures nouvelles repoussées dans le temps, de façon à garder le caractère multifonctionnel et tous océans affirmés de la TGIR.

Ce plan, revu a minima, nécessite un lissage jusqu'en 2030. Les opérations de renouvellement concernant la flotte du CNRS sur la période 2020 – 2025 sont le remplacement du Sépia II par une unité neuve, le Sépia III, dont le coût avoisine les 950 k€.

3.1.5. Renouvellement du Sépia II

Le projet de remplacement du Sépia II est entré en phase chantier au printemps 2023. Légèrement plus grand que son prédécesseur, le nouveau navire pourra accueillir à son bord deux chercheurs supplémentaires, tout en offrant des espaces plus généreux pour les laboratoires et le déploiement d'équipements en plage arrière. Basé à Boulogne-sur-Mer, il poursuivra les missions du Sépia II, en tant que navire de station, à partir du printemps 2025.

Construit en 1981 et exploité par le CNRS, le Sépia II compte aujourd'hui parmi les sept navires de station de la Flotte Océanographique Française.

Naviguant principalement dans une zone maritime comprise entre Dieppe et la frontière belge, il opère jusqu'à 20 milles des côtes. Il est généralement mobilisé en soutien à diverses activités d'observation, de recherche et d'enseignement en biologie, écologie marine et biogéochimie. Le navire effectue également des mesures de courantologie et des études d'impact en mer liées à certaines activités industrielles (chimie, nucléaire...).



Figure 173 : Le Sépia III en cours de construction

Vieillissant, il sera donc remplacé au printemps 2025 par un navire de même catégorie. Le projet a été lancé fin 2021 et développé en étroite partenariat entre l'Ifremer et le CNRS. Sa réalisation a été confiée au bureau d'étude Coprexma et au chantier constructeur Plasti-pêche qui a démarré la construction au printemps 2023. Ce renouvellement a été l'occasion d'apporter quelques améliorations significatives. Plus spacieux, le nouveau navire embarquera douze personnels spéciaux (scientifiques, étudiants...) au lieu de dix sur le Sépia II.

Il disposera d'une propulsion plus performante et conforme aux exigences environnementales en termes de rejet dans l'atmosphère de la zone de navigation. Offrant également plus d'espace que son prédécesseur, la plage arrière accueillera un portique fixe pour la mise à l'eau de différents équipements (chalut, carottier...), une perche verticale pour l'installation des instruments sous la coque (hydrophones, sondeurs, caméras...) et une perche horizontale de type tangon capable de tracter un petit engin muni de capteurs.

Les capacités de la potence « hydrologie » seront aussi doublées par rapport à l'existant, pour la mise à l'eau de sondes CTD (Conductivity, Temperature, Depth), de rosettes classiques ou de bouteilles de prélèvement.

Site web de la FOF :

<https://www.flotteoceanographique.fr>

Publications :

<https://www.flotteoceanographique.fr/La-Flotte-en-action/Donnees-des-campagnes/Publications>

Personnel DT impliqué :

- Un capitaine d'armement responsable de la gestion technique et administrative des navires et des équipages.
- Un adjoint au capitaine d'armement responsable du suivi technique et de la maintenance des navires.
- Environ 20 marins embarqués.
- Une cellule administrative composée de 2 gestionnaires dédiées également à la gestion administrative du site de la Division Technique dans son intégralité.
- Le service informatique de la DT qui supervise le système de communication des navires en collaboration avec le service informatique de l'OSU Pythéas.

Contact :

Emmanuel Alessandrini, capitaine d'armement.

emmanuel.alessandrini@cns.fr

3.2. Le parc national d'instrumentation océanographique

3.2.1. Introduction

L'équipe du site de Brest de la Division Technique a sous sa responsabilité un Parc National d'Instrumentation Océanographique (PNIO) qui est mis à la disposition des laboratoires pour leurs campagnes à la mer (sur navires hauturiers ou côtiers). Elle est constituée de :

- Lionel Scouarnec
- Emmanuel de Saint-Léger
- Robert Coffec (50%)
- Arnaud Le Ridant
- Grigor Obolensky (depuis avril 2023)
- Marie Grisel (CDD en 2024)

Les principales tâches du parc sont les suivantes :

- Conseil, conception et préparation de lignes de mouillages instrumentées sur demandes de soutien.
- Gestion des emprunts de matériel à la mer.
- Achat, maintenance, développement et valorisation des équipements.
- Entretien, suivi des étalonnages.
- Formation des utilisateurs.
- Mises en œuvre lors de missions en mer.

3.2.2. Description technique

Le Parc regroupe des instruments essentiels pour l'océanographie :

- Mesures d'hydrologie avec CTD, rosettes et capteurs auxiliaires.
- Mesures de courant avec ADCP, LADCP et courantomètres ponctuels.
- Collectes de particules avec pièges à sédiments et pompes in-situ.
- Matériel de mouillage avec capteurs autonomes, flottabilités, matériel de récupération et de positionnement.

Depuis 2011, le site de Brest assume également la gestion administrative de 8 parcs côtiers (Wimereux, Luc-sur-Mer, Roscoff, Brest, Bordeaux, Banyuls-sur-Mer, Marseille et Villefranche-sur-Mer). Du matériel dédié aux applications côtières est géré localement dans ces différentes implantations (sondes CTD petit fond, engins de prélèvements légers...).

La liste de ces équipements est consultable sur le site internet de la DT-INSU, ainsi que la charte d'emprunt fixant les conditions d'utilisation.



Figure 174 : Hangar de stockage à l'IPEV

Entre 2020 et 2024, la valeur totale du matériel du parc océanographique est estimée à 5 millions d'euros. Un budget annuel de l'ordre de 10% de la valeur des instruments est consacré à la maintenance des équipements et au renouvellement du matériel perdu, cassé ou obsolète.

Bilan des achats de matériel (incluant les parcs côtiers) :

Valeurs en k€	2020	2021	2022	2023	2024
Bouteilles de prélèvement	-	10	90	-	40
Courantométrie	90	55	-	-	-
Capteurs CTD	27	71	149	57	120
Capteurs autonomes	39	62	17	91	45
Matériel de repérage	10	15	-	13	-
Largueurs	-	21	-	28	-
Pompe in-situ	68	-	-	-	-
Sédimentologie	8	-	-	51	30
Flottabilité	21	49	-	24	15
Capteur turbulence	-	-	14	-	10
Container Chimie propre	2	-	-	-	-
Divers	17		48	4	10
TOTAUX	282	283	318	268	270

3.2.3. Missions réalisées

En 5 ans, l'équipe du Parc a assuré la préparation, la formation des utilisateurs et le prêt d'équipements pour :

	2020	2021	2022	2023	2024
Campagnes hauturières	9	12	11	10	9
Campagnes côtières	11	14	9	6	5
Nombre de jours en mer	2*	156	6	96	100

* Impact COVID

3.2.4. Quelques projets significatifs

En 2020

EMSO-MARMARA

Afin de mener à bien le déploiement d'un courantomètre doppler et d'un capteur de pression dans la mer de Marmara (Turquie), le PNIO a apporté son soutien au projet EMSO-MARMARA porté par Pierre Henry (CEREGE).

La mer de Marmara est parcourue par la faille nord-anatolienne, qui sépare la plaque anatolienne de la plaque Eurasie. A terre, la faille est bien connue, elle est constituée de différents segments, qui ont tous connu des séismes majeurs au cours des siècles précédents.

En janvier 2018, le déploiement d'un courantomètre et d'un capteur de pression a été permis par le travail de la DT-INSU qui avait préparé les instruments et dimensionné une cage de fond permettant d'obtenir des mesures de qualité optimale. Cette cage avait pu être testée lors d'une journée d'essai au bassin Ifremer en décembre 2017.

En avril et novembre 2019, Olivier Desprez de Gésincourt a participé à deux campagnes de récupération / remouillage de la cage de fond à bord du navire turc R/V YUNUS. Son rôle a consisté à assurer la bonne récupération de l'ensemble du matériel, son reconditionnement et le redéploiement pour une nouvelle période de 6 mois en soutien au chercheur à l'origine du projet.

Le bon déroulement de la campagne a notamment permis d'acquérir de précieuses données lors d'un séisme qui a provoqué un basculement de la cage de fond proche de 65°. Tous le système est revenu à l'horizontal après le séisme et l'ensemble des capteurs a continué à fonctionner après cet évènement.

En 2020, seule la récupération définitive des équipements a pu être menée à bien grâce aux collègues de l'Institut Technologique d'Istanbul qui ont été formés pour l'occasion.



Figure 175 : Récupération de la cage mouillée en mer de Marmara

En 2021

SWINGS

Le projet SWINGS repose sur la réalisation d'une section océanographique dans l'océan Indien sud-ouest, essentiellement austral. Cette région est particulièrement cruciale car elle joue un rôle majeur dans le contrôle du climat et est fortement sensible aux changements globaux en cours, et encore peu explorée en raison de son éloignement.

Les principaux objectifs du projet sont :

- Etablir la distribution, le comportement et le transport des éléments en traces et isotopes (TEI) au sein des masses d'eau identifiées le long de la section comprise entre Durban, les îles Marion, Crozet, Kerguelen, jusqu'au sud de Heard afin de connecter avec la section australienne KAxis.
- Réaliser des études de processus au contact continent-océan dans la baie de Natal, et leur influence potentielle sur le courant des Aiguilles.
- Explorer la présence éventuelle de champs hydrothermaux actifs à 44°S le long de l'ultra lente «South West Indian Ridge», puis à proximité de l'île Marion et enfin dans la région de Kerguelen-Heard.
- Contribuer à la documentation de la chimie des carbonates et des échanges air-mer de CO₂ le long d'une section caractérisée par des associations biologiques contrastées.
- Résoudre la signature des processus dynamiques à échelle moyenne et régionale (e.g.: interactions entre courant et sous courant des Aiguilles, tourbillons générés par reliefs, zones de fronts etc...).
- Réoccuper des stations clés dans les zones naturellement fertilisées de Crozet et Kerguelen et documenter les mécanismes de fertilisation naturelle de Marion-Prince Edwards.

La réalisation de ces objectifs s'est appuyée sur une campagne océanographique de 57 jours (75 stations) sur le Marion-Dufresne II. Dans ce cadre, le parc océanographique a été fortement impliqué pour préparer et déployer les équipements nécessaires à la réalisation de la campagne en mer avec notamment :

- 1 CTD/rosette 24 bouteilles avec capteurs auxiliaires et mesures de courants.
- 1 CTD/rosette 24 bouteilles Trace Metal Clean.
- 1 container chimie propre équipé d'un système Milli-Q.

- 8 pompes in-situ équipées de têtes de filtration verticales et de cartouches + 5 pompes empruntées au Canada et modifiées pour la campagne.
- 1 système de prélèvement propre en route (GEOFISH) et son système de pompage dédié.

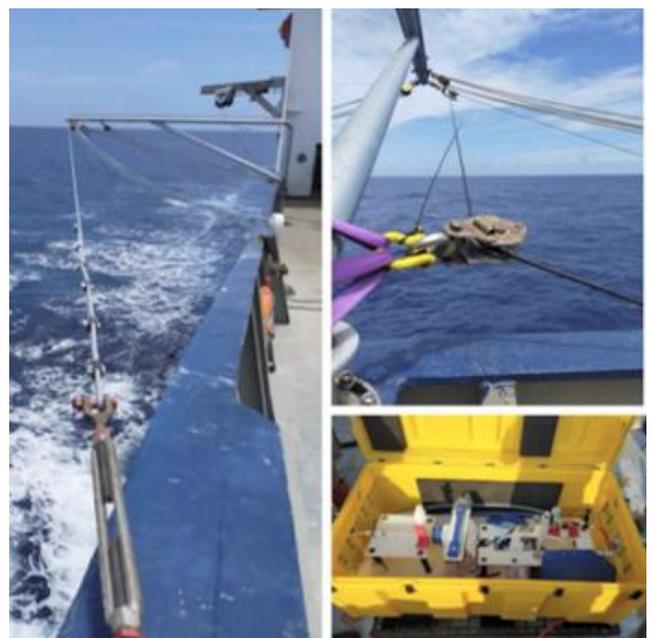


Figure 176 : Déploiements du matériel au cours de la campagne SWINGS autour des îles australes

AMAZOMIX

Sur le plateau et sur le talus situé à l'embouchure de l'Amazone, se génèrent d'intenses ondes internes issues de l'interaction de la marée avec la topographie.

L'objectif principal de la campagne AMAZOMIX est de fournir pour la première fois des mesures directes de mélange dans cette région sur les sites contrastés de génération ainsi que dans le chemin de propagation, pour quantifier la dissipation locale versus lointaine, et mieux comprendre pourquoi dans certains sites il y a propagation et dans d'autres où toute l'énergie est dissipée localement. Le deuxième objectif est de mieux comprendre comment ce mélange influence le transport de sédiment, les flux biogéochimiques ainsi que l'écosystème marin. Ce projet interdisciplinaire rassemble des physiciens, sédimentologues, biogéochimistes et biologistes. Il s'articule autour de plusieurs outils et données déjà existants, de modélisation et d'analyses de données in situ et satellitaires, et de nombreuses personnes à terre permettront de bonne préparation et valorisation de la campagne.

La campagne s'est concentrée de part et d'autre de la chute du talus. Elle s'est déroulée sur l'Antea du 28 août au 8 octobre 2021 en 3 legs. 2 legs de 15 jours avec des transects de 50 à 100 mn de long, partant du plateau et en direction du large, ont été consacrés aux opérations de CTD/LADCP, VMP pour quantifier la dissipation due au mélange turbulent. Par ailleurs, un troisième leg d'une semaine a été dédié au déploiement de deux mouillages (ADCP + thermosalinomètres), afin de quantifier l'énergie de marée qui se propage. En parallèle et pour étudier l'impact du mélange turbulent sur ceux-ci, des prélèvements pour mesure de O₂, CO₂, sels nutritifs, Chl, POC, DOC, POM, DOC ont été réalisés. Ils ont également été complétés par des mesures acoustiques et des opérations de chalutage de fond et pélagique ainsi que des collectes de plancton. Par ailleurs, un glider a été déployé sur 1 mois pour échantillonner les courants dans les tourbillons plus au large qui pourraient interagir avec les ondes internes se propageant ainsi que dans le panache de l'Amazone.

L'intervention de l'équipe du parc océanographique concernait essentiellement deux aspects :

- La participation d'Arnaud Le Ridant au second leg de la campagne pour la mise en œuvre du VMP et en soutien sur les opérations CTD et mesures en route notamment.

- Le déploiement des 2 mouillages instrumentés et la récupération du glider par une équipe de trois personnes de la DT au cours d'un troisième leg spécifique.

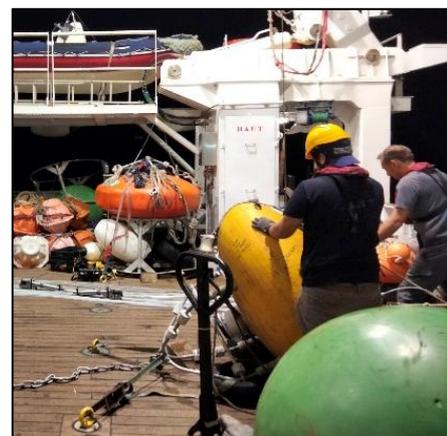
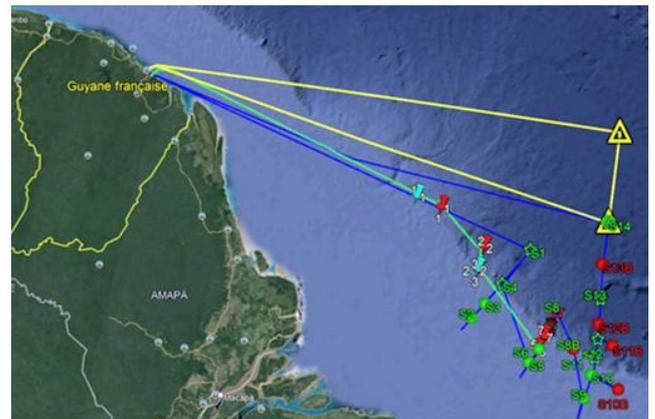


Figure 177 : Opérations à bord du navire Antea au large de l'Amazone

En 2022

SEAMER

Le projet LEFE SEAMER (SEAsonal variability of the MEsopelagic bacterial Remineralization) repose sur la réalisation d'une ligne de mouillage dérivante équipée de capteurs RESPIRE qui sont des pièges et incubateurs permettant de caractériser le processus de reminéralisation par les bactéries dans le domaine méso-pélagique.

La ligne qui a été développée par la DT-INSU a été déployée tous les mois pendant une année au large de Villefranche-sur-Mer (point MOOSE BOUSSOLE) afin de déterminer la variabilité saisonnière de ce processus. La ligne a été adaptée à Villefranche lors d'une mission test en mars 2022 pour permettre son déploiement depuis la Sagitta III et sa récupération par le Téthys II. L'essentiel des modifications a consisté à alléger au maximum la partie flottabilité de tête pour rester en accord avec les surfaces disponibles et les moyens de manutention des deux navires sans remettre en cause la sécurité des instruments ni la qualité des données.

Les déploiements ont été effectués en routine tous les mois et le matériel est revenu au printemps 2023 afin de préparer l'adaptation pour APERO (navire Pourquoi Pas ?).

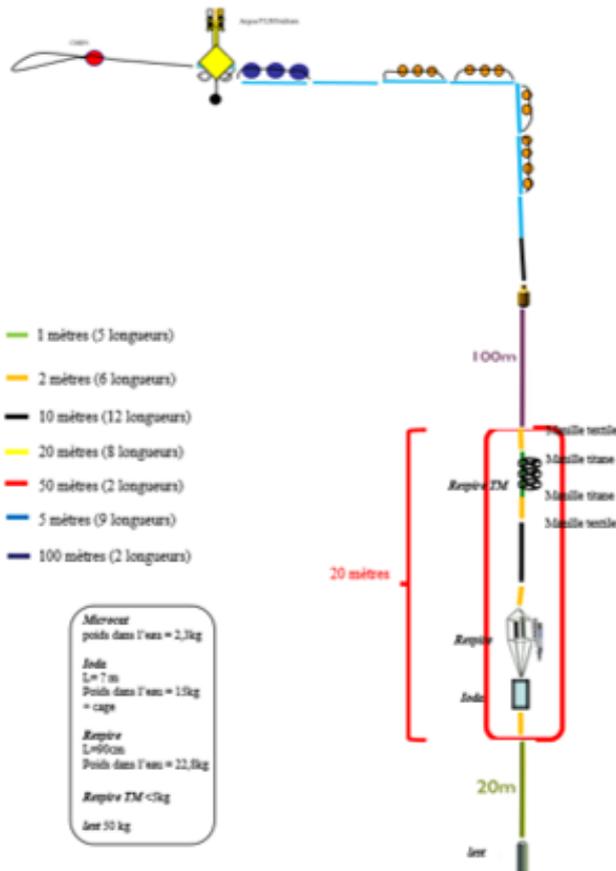


Figure 178 : Schéma du mouillage dérivant préparé pour SEAMER

CETIROISE

Dans le cadre du plan de relance, le Parc Naturel Marin d'Iroise et le Lab STICC (IA & Océan / OSE - ENSTA Bretagne) ont proposé un projet qui vise à suivre les populations de cétacés par le biais d'un observatoire acoustique implanté dans l'enceinte du Parc Naturel Marin d'Iroise durant une année (2022 à 2023). L'acoustique passive permet un suivi spatial et temporel des différentes espèces de cétacés par l'étude des sons qu'ils émettent. Le secteur Iroise est notamment identifié comme secteur cible pour l'étude des populations côtières de mammifères marins par acoustique passive dans le second cycle de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin. La stratégie adoptée est de déployer pendant une année sur 7 points d'écoute au nord du parc marin d'Iroise des instruments autonomes qui sont relevés tous les 3 mois.

Dans ce cadre, Cédric Brachet a développé des lignes de mouillages et des cages de fond particulièrement adaptées aux environnements côtiers du Parc Marin d'Iroise (nature du fond changeante, forts courants) en prenant soin de ne pas polluer les mesures d'acoustique passive par des bruits liés aux dispositifs déployés.

Deux campagnes de déploiement (mai 2022) et de récupération et redéploiement (août – septembre 2022) ont été assurées par l'équipe de l'ENSTA Bretagne avec le soutien de Cédric Brachet et Paul Dasi.

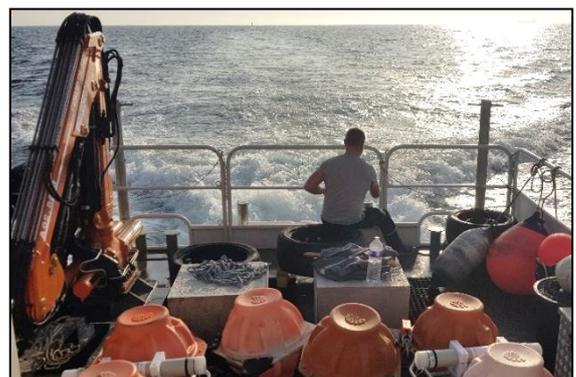
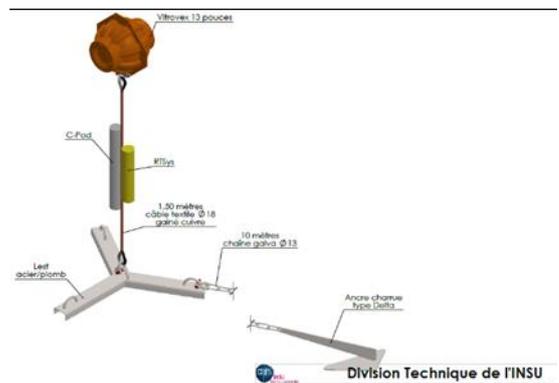


Figure 179 : Instruments déployés dans le cadre de CETIROISE

En 2023

SWOT-NC

Cette campagne à la mer était dédiée à l'étude de la marée interne et de ses interactions avec les tourbillons. L'objectif consiste à définir l'observabilité de ces processus au travers du niveau de la mer mesuré par le satellite SWOT lancé en 2022. Ce projet était soutenu à l'échelle internationale par CLIVAR et financée par le CNES et un projet LEFE.

La campagne centrée sur la période de répétitivité à un jour de la mission est cruciale pour interpréter dynamiquement le niveau de la mer SWOT. Cette mission tire bénéfice d'une zone de génération d'ondes internes dans la région au sud de la Nouvelle Calédonie traversée en permanence par des tourbillons, et qui est localisée sous une fauchée du satellite. Associé à cet aspect dynamique haute fréquence se greffe leur importance sur la biologie.

Les objectifs de la mission étaient de décrire les structures verticales des ondes internes et leur variation temporelle en fonction de leurs interactions avec la méso/sous-mésoéchelle océanique.

Afin de décrire les processus de marée interne et les tourbillons, le PNIO a contribué au dimensionnement, à la réalisation et au déploiement de 3 mouillages océanographiques et de deux cages de fond permettant de déployer des instruments de mesure du courant, de pression, de salinité et de température entre la surface et 1200 m de fond. Ces équipements ont été déployés entre mars et décembre 2023 à l'aide du navire Antea.

En parallèle, la DT-INSU a également été impliquée lors d'une campagne de mesure intensive entre mars et avril 2023 au cours de laquelle ont été déployés des systèmes tractés et embarqués du type nappe géodésique, Underway CTD, Vertical Microstructure Profiler et le système CYCLOPEE.

APER0

Le projet APER0 financé par l'ANR, a pour but de décrire les processus qui régulent l'export et l'atténuation du flux de carbone particulaire dans la colonne d'eau, en se focalisant sur les petite et moyenne échelles, sur la zone 200 - 2000 m. Il est construit sur la base d'une campagne dans l'Atlantique nord-est, au niveau de la station fixe anglaise PAP (16°W, 49°N), pour laquelle plus de 20 ans de mesures (dont des pièges à particules) sont disponibles.



Figure 180 : Instruments déployés depuis l'Antea au large de Nouméa pour le projet SWOT-NC

Deux navires de la FOF (Thalassa et Pourquoi Pas ?) ont été mobilisés en juin et juillet 2023 afin de mener à bien plusieurs types de mesures :

- Des stations classiques CTD/UVP/rosette.
- Des mesures acoustiques.
- Des traits de filets et de chaluts pour calibrer l'acoustique et décrire le zooplancton/necton sur la verticale.
- 5 stations longues de processus de 4/5 jours, associés à une ligne de pièges à particules dérivante et un nombre important d'observations ciblées (instrumentation optique, rosette, filets, BioArgos en mode Yoyo, ROMARIN).

Le choix de la position des stations s'est fait en temps réel en fonction de la situation rencontrée de la distribution des tourbillons et des fronts (diagnostiquée par données satellite et modèles opérationnels par une équipe à terre).

Dans ce cadre, le PNIO est intervenu pour dimensionner, réaliser et mettre en œuvre un mouillage dérivant multi-instrumenté (RESPIRE, KC

Trapps et IODA développées par la DT à La Seyne-sur-Mer), déployer le prototype ROMARIN (Rosette for Marine Snow Catchers) développé par la DT à Plouzané, et assurer la préparation et le déploiement des CTD/rosettes sur les deux navires.



Figure 181 : Déploiement du mouillage dérivant et de ROMARIN en juin 2023 à bord du Pourquoi Pas ?

En 2024

MARGO

Ce projet a pour objectif d'étudier l'impact de la fonte de la calotte glaciaire Cook des îles Kerguelen sur l'environnement marin et notamment l'apport

d'éléments nutritifs tels que le fer et le silicium grâce au déploiement de pièges à sédiments dans les fjords des îles Kerguelen pendant une année.

A ce titre le PNIO était impliqué dans le dimensionnement, la réalisation et la mise en œuvre de 3 mouillages instrumentés et d'une cage de fond pour caractériser l'apport d'éléments nutritifs par la calotte glaciaire (déploiement en février 2024) et la préparation et mise en œuvre d'une CTD/rosette et des capteurs optiques associés.

Le projet a également sollicité l'appui du PNIO pour la préparation et la mise en œuvre d'un système de prélèvement propre constitué d'un container pour les mesures de géotrace, de bouteilles de prélèvement dédiées et d'un poisson pompé (GEOFISH).

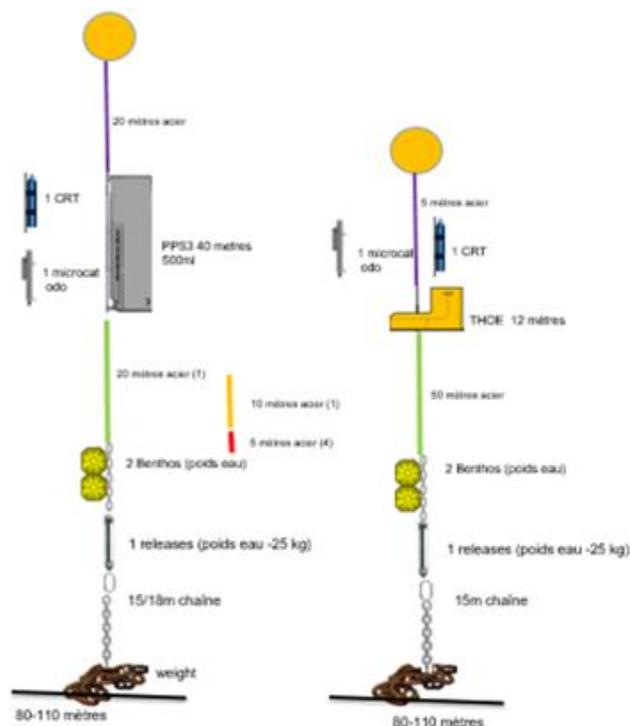


Figure 182 : Déploiements de mouillages aux îles Kerguelen dans le cadre de l'ANR MARGO

HOPE

Ce projet a pour but de définir la contribution des diazotrophes dans le processus de la pompe de carbone océanique au travers d'une étude pluriannuelle au sud de la Nouvelle-Calédonie.

Le PNIO est notamment en charge du dimensionnement, de la réalisation et de la mise en œuvre de 6 mouillages instrumentés pour caractériser l'évolution des masses d'eau et l'export de carbone au sud de Nouméa (déploiement en mars 2024).

A partir de septembre 2024, le service intervient aussi pour le dimensionnement, la réalisation et la mise en œuvre d'une ligne de mouillage dérivante instrumentée pour caractériser les flux de particules à l'intérieur des masses d'eau.

Documentation :

La liste des instruments du parc hauturier et des parcs côtiers, ainsi que la charte du bon usage du Parc d'instrumentation océanographique, sont à retrouver sur le site web de la DT-INSU.

<https://www.dt.insu.cnrs.fr/moyens-nationaux/parc-national-dinstrumentation-oceanographique/>

Contacts :

emmanuel.desaint-leger@cnrs.fr

ups855.parcoceano@services.cnrs.fr

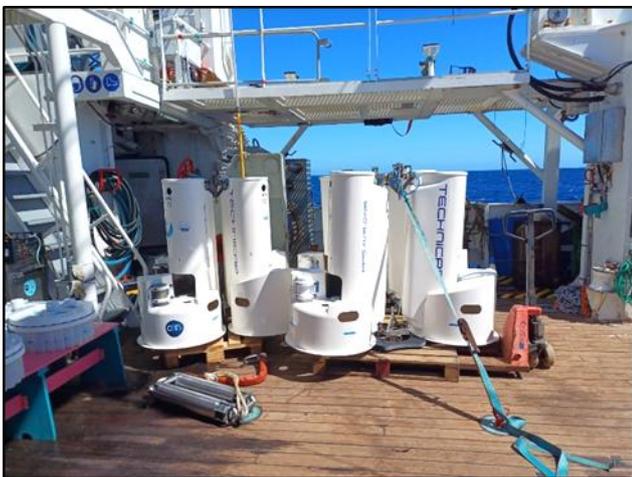


Figure 183 : Opérations à bord de l'Antea au sud de Nouméa dans le cadre du projet ERC HOPE

3.3. Le parc national de planeurs sous-marins

3.3.1. Introduction

Les planeurs sous-marins (gliders) sont des robots autonomes qui se présentent sous la forme de torpilles d'environ 1,50 m de long et de 50-60 kg. Ils sont équipés d'ailes leur permettant de planer dans la colonne d'eau jusqu'à des profondeurs de 1000 m, en suivant des trajectoires en dents de scie dans le plan vertical. Ils sont tous équipés de capteurs physiques (pression, conductivité, température) et éventuellement biogéochimiques (fluorescence, oxygène, nitrates, rétrodiffusion optique...). Les données enregistrées pendant les plongées sont retransmises à terre à chaque retour à la surface grâce au système de communication satellitaire Iridium. Les consignes de navigation sont également transmises aux gliders par le même canal.

3.3.2. Bilan des activités et des déploiements

2020 :

- Projet Amazomix décalé en 2021.
- Plan de déploiements Moose perturbé par le confinement et par l'intérêt de la Prémar suite à une nouvelle réglementation sur les tests de drones sous-marins.
- Validation de notre chaîne de traitement pour les données Slocum et SX niveau L1.
- Finalisation du marché glider (centrale d'achat nationale).
- Moose : 4 déploiements sur les radiales Nice-Calvi et Marseille-Minorque 136 j (4,53 mois) pour MooseT00, et 37 j (1,23 mois) pour MooseT02, soit 173 j (5,7 mois) pour Moose.
- MetPag20 : 24 jours de déploiement dans l'embouchure du Rhône après intégration d'un capteur LISST prêté par l'université Rutgers sur glider Crate.
- Eurec4A : déploiement du SeaExplorer 25 jours à partir de l'Atalante à la Barbade.

2021 :

- 12 demandes de soutien pour des projets sur 2021/2022.
- Augmentation des demandes d'intégration de nouveaux capteurs.
- Mise en place de notre plan de gestion des données.
- Amélioration de notre banc d'intercomparaison.

- Développement d'un banc de ballastage.
- Achat de deux gliders prévu en début d'année.
- Moose : deux radiales MooseT00 et MooseT02.
- Amazomix : campagne septembre 2021 avec CTD, VMP, 2 mouillages fixes.
- Delta du Rhône : déploiement d'un glider équipé du capteur LISST de l'université de Rutgers.

A French-US Partnership Studying the Mediterranean Sea

In Announcements Posted January 30, 2020



Figure 184 : Annonce de la campagne Metpag par le partenaire américain de l'Univ. de Rutgers

Nom	Date début	Nb de jours
Eurec4	25/01/2020	124
Metpag-1er Leg	30/01/2020	4
Metpag-2ème Leg	13/02/2020	17
MooseT00_43	12/03/2020	86
MooseT02_24	25/06/2020	7
MooseT00_44	13/10/2020	50
MooseT02_25	19/10/2020	28
MooseX00_01	19/01/2021	8
MooseT00_45	27/01/2021	8
MooseT00_46	23/02/2021	22
MooseT02_26	03/03/2021	52
MooseT00_47	25/03/2021	34
MooseT00_48	12/05/2021	33
Amazomix	09/09/2021	26

3.3.3. Campagne METPAG

Laboratoire demandeur : CEFREM.

Chercheur : François Bourrin.

Le projet METPAG s'inscrit dans la continuité du projet MATUGLI, qui mobilise le Parc gliders de la DT-

INSU depuis 2017, et a pour but d'intégrer un capteur de mesure directe de taille des particules en suspension (capteur LISST) afin de mieux caractériser la dynamique des particules dans le Golfe du Lion lors des événements extrêmes (crues, tempêtes).

L'intégration du capteur sur le glider Crate s'est faite tout au long de l'année 2019, et le retard pris sur cette intégration n'a pas permis de faire le déploiement test prévu en automne 2019. A noter que la demande initiale d'intégrer le capteur LISST et l'ADCP sur un unique glider n'a pas été possible.

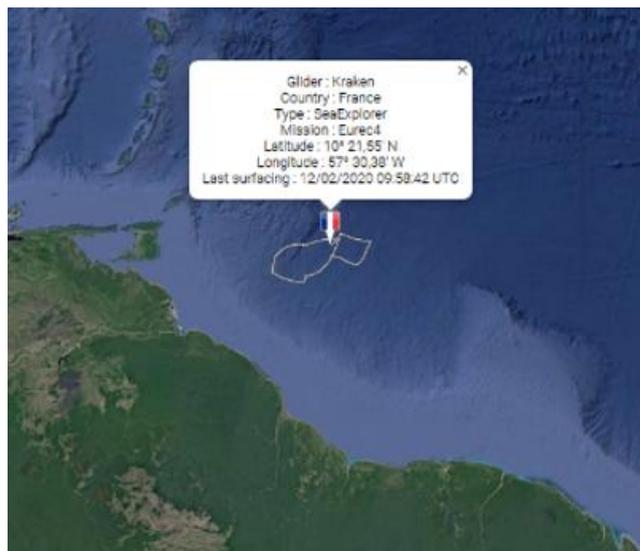


Figure 185 : Trajectoire de Kraken pendant Eurec4

3.3.4. Campagne AMAZOMIX

Laboratoire demandeur : LEGOS.

Chercheur : Ariane Koch-Larrouy.

Le projet Amazomix a pour objectif d'étudier les échanges côte-large, les interactions entre courants et ondes internes, et leur impact sur les propriétés bio-optiques, sur la zone de plateau et le talus au large de l'Amazone, dans une région caractérisée par une dissipation locale a priori forte (quoique jamais mesurée jusqu'à présent) et la présence de solitons. Ce projet bénéficie de financements de plusieurs projets complémentaires (Guyamazon, LEFE, LEGOS) et fait l'objet d'un projet soumis à TOSCA.

La demande concernait le déploiement d'un glider sur 1 mois lors de la campagne Amazomix en septembre 2021 sur le N/O Antéa. Une difficulté de ce déploiement est le fort gradient vertical de densité, lié aux eaux douces de surface du panache de l'Amazone, qui impose une contrainte technique forte en termes de flottabilité.

3.3.5. Campagnes MOOSE

Laboratoire demandeur : OOV.

Chercheur : Laurent Coppola.

Les radiales répétées sont un élément essentiel du SNO Moose, dont la labellisation a été renouvelée pour la période 2020-2024 dans le cadre de l'IR ILLICO.

L'objectif à atteindre est de réaliser chaque année 2 x 9 mois de mesures sur les radiales T00 (Nice-Calvi) et T02 (Marseille-Minorque). Après discussion en 2018 avec les PIs du projet Moose, une priorité scientifique P1 a été donnée pour les déploiements d'hiver-printemps (mi-janvier à fin avril) et une priorité P2 pour les déploiements d'automne.

Personnel DT impliqué :

Les agents du parc des gliders.

3.4. Le laboratoire national d'étalonnage pCO₂

Le laboratoire national d'étalonnage pCO₂ offre un service d'étalonnage de capteurs de pression partielle de dioxyde de carbone (pCO₂) aux laboratoires dont l'INSU est tutelle.

Créé en 1993 au LOCEAN, ce laboratoire a été transféré à la DT en 2001.

3.4.1. Objectifs scientifiques

Deux bancs d'étalonnage pCO₂ sont en place à la DT-INSU dans une salle dédiée sur le site de la DT à Gif-sur-Yvette. Ces bancs d'étalonnage permettent d'étalonner des capteurs de mesure de la pCO₂ dans l'eau de mer.

Les étalonnages sont effectués à la demande des laboratoires utilisateurs de ces capteurs de pCO₂ (sur bouées Carioca, Marel, Pirata, Boussole, etc...).

3.4.2. Description technique

Les bancs permettent de réaliser des étalonnages entre 5 et 30°C (+/- 0.01°C) pour des mesures de pCO₂ comprises entre 200 et 600 µatm (+/- 3 µatm). Les étalonnages sont effectués par comparaison entre la mesure du spectrophotomètre (le capteur à étalonner) et celle d'un analyseur infrarouge de référence (Licor 7000).

Chaque banc est équipé d'un Licor 7000 ainsi que d'un circuit de 30 litres d'eau de mer régulés en température, d'un équilibrateur eau/air, de pompes, régulateurs de débits et pièges à froid.

Les Licor sont étalonnés régulièrement grâce à des bouteilles étalons de CO₂ : 3 étalons secondaires (+/- 0.5 ppm) et 3 étalons primaires (+/- 0.1 ppm).

Une thermistance étalonnée à +/- 0.01°C ainsi qu'un capteur de pression (précision 0.01%) permettent de mesurer la température et la pression avec précision dans l'équilibrateur. Ces 2 données servent au calcul de la pCO₂ du Licor.

Le second banc d'étalonnage a été intégré dans une armoire thermostatée afin de garantir un bon équilibre thermique et ainsi améliorer la fiabilité des résultats.

Les 2 bancs ont été automatisés afin de moderniser et fiabiliser l'ensemble du processus d'étalonnage.

Le capteur à étalonner (ou spectrophotomètre) mesure les absorbances d'un colorant qui est en contact avec l'eau de mer par l'intermédiaire d'une membrane semi-perméable au CO₂. La température de l'eau de mer dans le capteur est mesurée avec une

précision de +/- 0.01°C. A partir des mesures d'absorbance, de température et de paramètres physico-chimiques, on peut calculer une pCO₂ théorique qui est comparée à la valeur mesurée par le Licor. Une équation d'étalonnage est alors déterminée.



Figure 186 : Les 2 bancs d'étalonnage à Gif-sur-Yvette, avec l'armoire thermostatée et les bouteilles de CO₂ étalons

3.4.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

Une campagne d'étalonnage dure environ 1 mois. Grâce aux 2 bancs d'étalonnage, il est possible de réaliser 2 à 3 étalonnages en parallèle. Ainsi, entre 2020 et 2024, 37 étalonnages ont été réalisés. Les capteurs étalonnés ont été intégrés sur divers supports : bouées Carioca (dérivantes), bouées Pirata, Marel ou Boussole (bouées fixes).

Personnel DT impliqué :

Laurence Beaumont : étalonnages.

Benoit Arnold : mécanique, intégrations.

Contact :

laurence.beaumont@cnr.fr

3.5. EPOS France

(anciennement RESIF)

Directrice du consortium EPOS-France :
Andrea Walpersdorf.



Figure 187 : le matériel du parc GPSMob lors d'une campagne de mesure dans les Pyrénées

3.5.1. Objectifs scientifiques

EPOS-France est une infrastructure de recherche nationale inscrite sur la feuille de route des infrastructures de recherche éditée par le MESR. Son objectif est de faire progresser la connaissance du système dynamique et complexe qu'est la Terre en coordonnant les actions d'observation et en contribuant activement aux recherches sur la Terre Solide. Son changement de nom en octobre 2023 correspond à une réorganisation reproduisant nationalement la structure de l'infrastructure européenne EPOS (European Plate Observing System).

3.5.2. Description technique

Cette infrastructure regroupe plusieurs réseaux permanents d'observation et parcs mobiles regroupés en Actions Spécifiques (AS Gravimétrie, AS SisMob, etc.) et complétés d'Actions Transverses Thématiques (ATT Sismicité, ATT SI-GNSS, etc.).

Outre la jouvence des très nombreuses installations de l'infrastructure, la création de sites d'observation complémentaires ou l'ajout de nouveaux capteurs sur les sites existants, cette infrastructure implique des moyens de traitement, stockage et valorisation des données en perpétuelle évolution.

3.5.3. Activités de la DT

Maître d'œuvre pour l'extension du Réseau Large Bande Permanent pendant toute la durée de l'Equipex (2012-2020), la DT-INSU continue à jouer un rôle clé pour cette infrastructure car elle est

dépositaire des crédits INSU qui lui sont attribués (de l'ordre du M€ par an). En particulier, c'est elle qui met en place les marchés publics liés aux achats d'équipements. Depuis 2007, elle gère les crédits des 4 parcs géophysiques de l'INSU qui ont intégré RESIF en 2010. Parmi eux, elle héberge le parc de récepteurs GNSS mobiles, GPSMob.



Figure 188 : Forage du site de Béthincourt (Meuse) par le BRGM et la DT

En 2021 et 2022, on a effectué la justification des tranches 1 et 2 de l'Equipex RESIF. Bien que centralisée au niveau de l'INSU à Paris Michel-Ange, cette justification a souvent sollicité la DT pour sa connaissance des opérations effectuées sur la décennie précédente.

Parmi plusieurs marchés publics, la DT a en particulier coordonné les jouvences de plusieurs AS (Réseau Accélérométrique Permanent, Réseau Large Bande Permanent, parc SisMob) pour monter un marché à deux lots reconductible sur trois ans, qui a beaucoup facilité les achats sur cette période. A noter également le montage d'un marché de développement d'OBS (Ocean Bottom Seismometer : sismomètre fond de mer) communicants dans le cadre de l'observatoire de Mayotte (ces instruments font partie des parcs géophysiques de l'INSU), sur un crédit du Ministère de la Transition Ecologique, qui comprenait une phase de test en France avant un déploiement sur le volcan sous-marin. La complexité du développement a nécessité la mise en place de

trois avenants pour prolonger le marché, toujours en cours au moment de la rédaction de ce rapport.

Sur le plan technique, la DT continue à maintenir le lien avec le partenaire industriel qui a développé et fabriqué en série l'armoire contrôle/commande des nouvelles stations sismologiques du RLBP. Le but est de faire évoluer cette armoire en fonction des retours d'expérience et des fins de production de certains éléments.



Figure 189 : Visite de maintenance par l'EOST de la station de Neufchef (Moselle), installée en 2019 dans un couloir de mine selon les standards définis par la DT (armoire contrôle/commande dans une baie outdoor)

En ce qui concerne la gestion technique du parc GNSS GPSMob, on retiendra surtout que son personnel a minimisé l'impact pour ses utilisateurs des changements intempestifs de calendrier du déménagement de la DT, ainsi que de la période de fonctionnement dégradé sur tout 2023. Cela a été rendu possible grâce à la jouvence du parc effectuée de 2021 à 2023. Elle a permis de mettre deux fois plus d'instruments que prévus en circulation et de répondre aux demandes sans réutiliser du matériel qui ne pouvait plus être contrôlé correctement. L'année 2024 est consacrée à la remise en route du service dans les nouveaux locaux de Gif-sur-Yvette. Des tests de qualité de réception des signaux GNSS sont en cours pour déterminer l'emplacement de la future (2025 ?) plate-forme atmosphère qui servira entre autres à contrôler l'étalonnage des antennes GNSS du parc.

En 2023 a été mis en place, en collaboration avec l'OREME, une procédure d'attribution automatique de DOI aux campagnes effectuées par les instruments

du parc, en s'appuyant sur la base de données de suivi du parc et l'archivage des données gérées par la DT.

Pour anticiper le départ en retraite de son responsable, l'étude de la migration de l'outil de suivi des instruments du parc (mis en place en 2000, prolongé à partir des archives papier jusqu'en 1990) est en cours pour passer sous GMI, l'outil générique de gestion de parcs développé à la DT à La Seyne-sur-mer.

De par son expertise sur le matériel GNSS et sa proximité géographique avec le Laboratoire National de métrologie et d'Essai (Trappes), la DT a été sollicitée pour installer en 2020 la station permanente GNSS LNE1, colocalisée avec le gravimètre atomique du SYRTHE.

Publication :

GPSMob, le parc mobile de récepteurs GNSS de l'INSU, O.Charade et al., poster AEI 2024 à Rennes.

Personnel DT impliqué :

Olivier Charade, Vanessa Martray, Benoît Arnold, Elodie Godinho.

Contact :

olivier.charade@cnrs.fr



Figure 190 : La station GNSS permanente LNE1 installée par la DT en 2020

3.6. Le Centre de Carottage et de Forage National

3.6.1. Carottage continental

Le Centre de Carottage et de Forage National (C2FN) qui était opéré par la DT-INSU depuis 2008 a été transféré à l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble fin 2024 sur décision de l'INSU. Le responsable C2FN de la DT ayant pris sa retraite avant la rédaction de ce rapport, nous allons seulement lister les sondages réalisés par ce service sur la période 2020-2023.

3.6.2. Activités, campagnes

Le plan de charge réalisé de 2020 à 2024 implique les demandes de soutien suivantes :

Années	Demandes
2020, 2021	Barbeau
2020, 2021	Baziliznik
2020, 2022	Comminges
2020, 2022	Dokess
2020	Haravi
2020	Lamasquère
2020	Puechabon
2021	Hol-Lauzet
2023, 2024	Icar Issarles
2023	Icare Monticchio
2023, 2024	Penelope Orbotello
2024	Crypte
2024	Variloess

3.6.3. Demande SOCS Lamasquère (France)

Objet de la demande :

Réalisation de 100 sondages à 1 m de profondeur.

Objectif scientifique :

Déterminer le stock de carbone organique SOCS (Soil Organic Carbon Stocks) en prélevant 100 carottes, sous gaine rigide, de 1 m de longueur, de 0 à 1 m de profondeur. La parcelle, localisée sur la station agricole de Lamasquère, a une superficie totale de 24 ha.

Campagne :

Sur février-mars-avril 2020, conception, industrialisation et fabrication des trouses coupantes spécifiques pour une récupération du sédiment sans compression.

Puis du 28 septembre au 2 octobre 2020, réalisation des 100 carottages. Prélèvement de surface de 0 à 1 m sans compression et avec 100% de récupération.

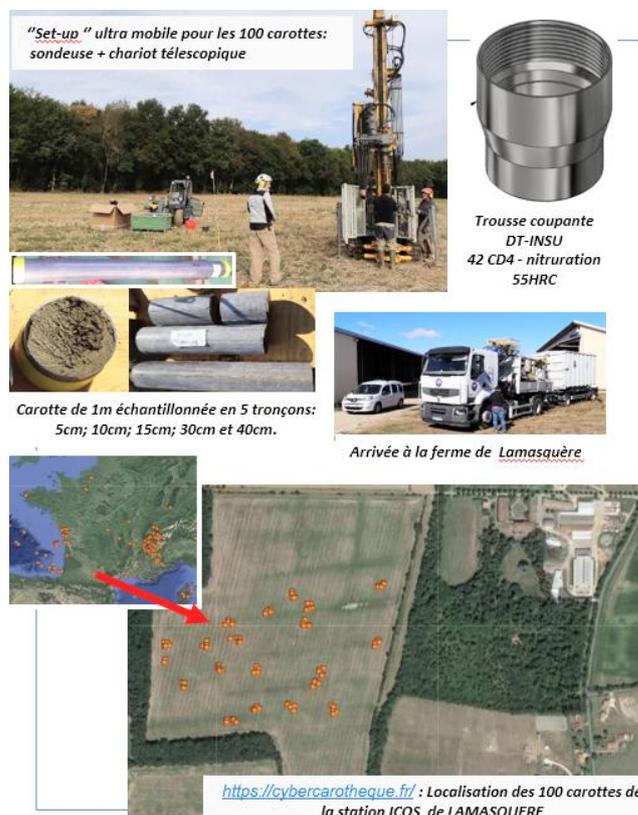


Figure 191 : Résumé en images de la campagne Lamasquère

3.6.4. Demande Comminges (France)

Objet de la demande :

Réalisation de 5 sondages jusqu'à 5 m de profondeur.

Objectif scientifique :

Programme collectif de recherche sur la ville romaine de Saint-Bertrand-de-Comminges (Haute-Garonne) développée au pied d'une colline. Intervention sur la ville haute, dont la forme de l'occupation à l'époque romaine est inconnue en raison de la continuité de l'occupation jusqu'à nos jours. Datations radiocarbone réalisées pour caler la chronologie des sédiments carottés et déterminer le contexte géologique.

Campagne :

Du 6 au 9 juillet 2020, réalisation de 6 carottages à 5 m en technique SONIC.

Les principaux points durs ont concerné les accès aux parcelles privées (passages très étroits), le terrain hétérogène constitué de remblais, et les limites de la technique SONIC (extraction de la carotte sous gaines souples avec la courbure inévitable et imposée qui entraîne une déstructuration de la carotte).



St Bertrand de Comminges: localisation des 6 sondages Lithographie: Thierry Frères Paris



Technologie SONIC et le problème de l'extraction de la carotte sous gaine souple.



Figure 192 : Résumé en images de la campagne Comminges

3.6.5. Demande Hol-Lauzet (France)

Objet de la demande :

Réalisation d'un sondage pour prélever une séquence de sédiment de 15 m par 6 m de fond.

Objectif scientifique :

Le projet Hol-Lauzet offre l'opportunité d'étudier et de reconstituer les changements environnementaux et climatiques dans la vallée de l'Ubaye au cours des dernières décennies et de l'Holocène à partir de carottes de sédiments lacustres prélevées dans le lac du Lauzet sur Ubaye.

Campagne :

Du 13 au 24 septembre 2021, intervention pour la réalisation du carottage 15 m avec sa carotte de recouvrement.

Les points durs ont été la rencontre de sédiments difficiles à pénétrer à partir de 13 m, de sédiments anormalement collants, et la rupture des points d'ancrage du carottier pendant son extraction. On a subi la perte de l'équipement DHH par 15 m dans les sédiments en réalisant la carotte mère, soit 19,5 k€ de matériel perdu au fond du lac. La finalisation de la carotte de recouvrement a été possible grâce au prêt d'un carottier 63 mm dit Médieval par Edytem.



Figure 193 : Résumé en images de la campagne Hol-Lauzet

3.6.6. Demande SOCS Barbeau (France)

Objet de la demande :

Réalisation de 100 sondages à 1 m de profondeur. Ajout au dernier moment de la pose de 3 piézomètres à 1 m et réalisation d'un trou à 10 m.

Objectif scientifique :

Déterminer le stock de carbone organique SOCS (Soil Organic Carbon Stocks) en prélevant 100 carottes, sous gaine rigide, de 1 m de longueur, de 0 à 1 m de profondeur.

Campagne :

Du 4 au 14 octobre 2021, réalisation des 100 carottages. Prélèvement de surface de 0 à 1 m sans compression. Plusieurs carottes ont été doublées car la présence de meulière a empêché de descendre jusqu'à 1 m. La densité de la forêt ainsi que la présence de canaux de drainage ont fortement ralenti le progression et le positionnement de la machine sur les points de prélèvements.



Figure 194 : Résumé en images de la campagne Barbeau

3.6.7. Demande Basiliznik (Turquie)

Objet de la demande :

2 carottages avec recouvrement par 80 m de fond. 1 carottage à 15 m et un autre jusqu'à 20 m.

Objectif scientifique :

La citée turc de Nicée, proche du lac Iznik à 5 km de la faille Nord Anatolienne (MNAF) accueillait en 325 AD, le 1er concile des chrétiens, sans que l'on sache où. En 2014, M. Āžahin découvrait une basilique enfouie dans le lac. Aucun des 6 séismes identifiés à Iznik depuis 2500 ans ne semble lié à cette destruction. Nous proposons d'identifier l'âge et les causes de la submersion.

Campagne :

Après 2 reports dus à la crise sanitaire, l'opération a finalement pu avoir lieu du 4 novembre au 6 décembre 2021.

L'objectif de la demande initiale a été largement dépassé. Malgré les retards de transport, malgré le remplacement du personnel DT resté à la Seyne, la qualité de préparation exceptionnelle du matériel et la qualité d'intervention du personnel de substitution ont permis la réalisation de cette opération avec succès en doublant les objectifs initiaux : 4 carottes avec recouvrement au lieu de 2.

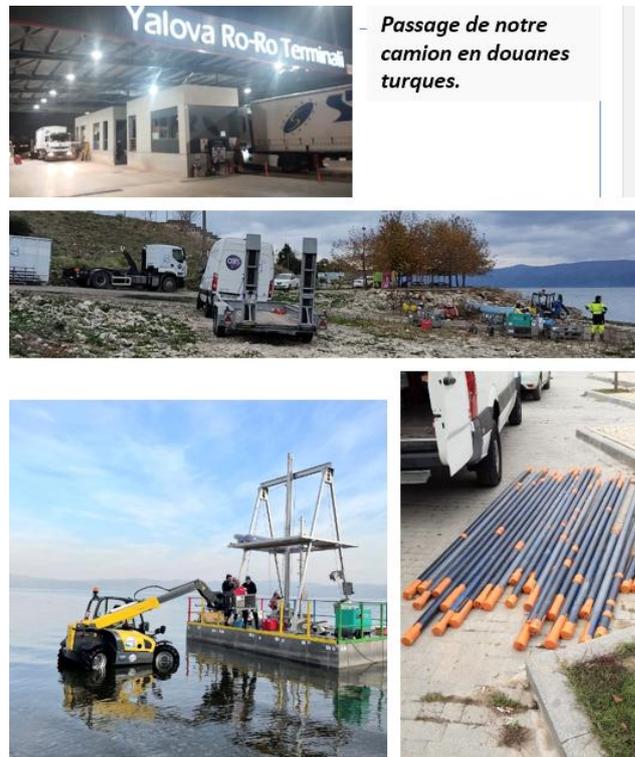


Figure 195 : Résumé en images de la campagne Basiliznik

3.6.8. Demande Icare (Italie)

Objet de la demande :

Réalisation d'un sondage de 35 m avec recouvrement (2 carottes) par environ 10 m de fond sur le lac Monticchio (Italie).

Objectif scientifique :

Apport majeur au projet INSU LEFE ICARE (Inter Calibration 40Ar/39Ar et Radiocarbone en Europe entre 10000 et 40000 ans BP) qui est une étude géochronologique sans précédent croisant les méthodes radio-isotopiques 14C et 40Ar/39Ar sur 11 éruptions volcaniques de référence entre 10 et 40 ka.

Campagne :

Une carotte de 32 m de séquence de sédiments était l'objectif initial, mais une couche de téfra trop dense a empêché d'atteindre cet objectif avec le matériel disponible. De plus, une météo particulièrement défavorable et inhabituelle a largement perturbé le déroulement de la mission (pluie quotidienne, abondante avec parfois des orages). L'accès au lac et ses berges est devenu très compliqué en fin de mission et a failli rendre impossible le retrait de la barge de l'eau.



Figure 196 : Résumé en images de la campagne Icare

Division Technique de l'Institut National des Sciences de l'Univers

www.dt.insu.cnrs.fr

Site de Gif-sur-Yvette	INSU Division Technique 1 Avenue de la Terrasse 91190 GIF-SUR-YVETTE
Site de La Seyne-sur-Mer	INSU Division Technique Zone portuaire de Brégaillon CS 20330 83507 LA SEYNE-SUR-MER cedex
Site de Brest	INSU Division Technique Bâtiment IPEV - Centre Ifremer Technopôle Brest-Iroise CS 50074 29280 PLOUZANE