

2015 – 2019

RAPPORT D'ACTIVITE

DIVISION TECHNIQUE DE L'INSU

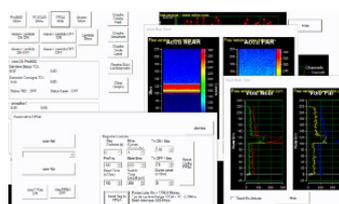
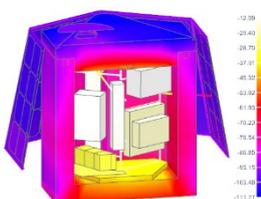
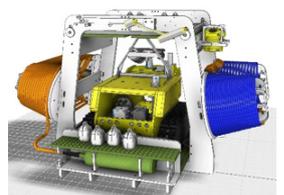
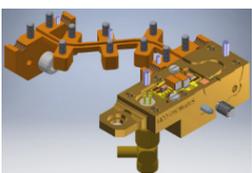
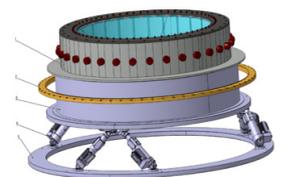


Table des matières

1. PRESENTATION GENERALE	5
1.1. La mission de la DT et sa place dans l'INSU	5
1.2. Organisation générale	6

2. LES PROJETS	7
2.1. APASCHsw	7
2.2. ASTAN	9
2.3. Banc photo	10
2.4. BIOCAREX	11
2.5. CALYPSO IV	12
2.6. CHEOPS	13
2.7. CIMEL	14
2.8. CLIMCOR	15
2.9. CubeSats	17
2.10. Cyber Carothèque Nationale	19
2.11. Cyclopée	20
2.12. DEEPNET	22
2.13. Drop-sondage sous ballon	23
2.14. EHR	25
2.15. EMSO	27
2.16. FLUX	31
2.17. FOAM	32
2.18. GFMT	34
2.19. GMI	35
2.20. Guide d'ions	36
2.21. HYDROCTOPUS	38
2.22. HYMENET	39
2.23. IAOOS	40
2.24. IGSN	42
2.25. IODA6000	43
2.26. JUICE-SCM	45
2.27. JUICE-SWI	47
2.28. Lidar LNG	49
2.29. Lidar μ DIAL	51
2.30. Lidar OPAR	53
2.31. Lidar WaVIL	55
2.32. Marégraphe nouvelle génération	56
2.33. Marel	58
2.34. MARIN-A	59
2.35. MICADO	60
2.36. MOMA-GC	62
2.37. MSE	64
2.38. NéoNarval	66
2.39. NGED	67
2.40. NIVMER	68
2.41. PAMELI	70

2.42. PEGASUS	72
2.43. PHLAC	74
2.44. Pico-SDLA	75
2.45. Pirata	82
2.46. PP-SESAME	83
2.47. Radar MOOSE	85
2.48. RADO	86
2.49. SOCLIM	87
2.50. SST-GATE	88
2.51. Station benthique	90
2.52. STEP	92
2.53. STRATEOLE 2	93
2.54. SUBGLACIOR	95
2.55. THEMIS OA	96
2.56. TRANSMED	98
2.57. VEMO	100

3. LES PARCS	101
3.1. La flotte du CNRS	101
3.2. L'instrumentation embarquée sur les navires	103
3.3. Le parc national d'instrumentation océanographique	106
3.4. Le parc national de planeurs sous-marins	113
3.5. Le laboratoire national d'étalonnage pCO ₂	120
3.6. RESIF	121
3.7. Le Centre de Carottage et de Forage National	124

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 Propre de Service (UPS 855), rattachée à l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU).

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

Chaque année entre mi-juillet et mi-septembre, soit en phase avec les AO 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 Adjointes 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 2015 et 2019, tous les chiffres concernant les demandes de soutien sont en augmentation :

- De 36 à 55 demandes déposées.
- De 1 à 7 demandes refusées.
- De 32 à 48 demandeurs.
- De 23 à 29 labos demandeurs.
- Trois fois plus de nouvelles demandes.

Durant cette période, la DT a traité 205 demandes de soutien émanant de 97 chercheurs ou ITA issus de 46 laboratoires.

Au cours des cinq années passées, de 2015 à 2019, la DT s'est impliquée dans trois EquipEX :

- Carottage Paléoclimatique : haute Résolution et Innovation (CLIMCOR), construction de trois nouveaux outils de carottage et forage (pour l'océan, la glace et le continental) pour améliorer la qualité des échantillons prélevés et par conséquent les moyens d'études des variations du climat à des pas de temps extrêmement fins. La DT a été responsable technique de cet EquipEX, adossé à la plate-forme nationale de carottage et de forage de l'INSU, le C2FN, créée en 2009. La rénovation du navire océanographique Marion Dufresne a été également effectuée via cet EquipEX.
- Ice atmosphere, Arctic Ocean Observing System (IAOOS), ensemble d'une vingtaine de plates-formes autonomes dérivantes en Océan Arctique pour l'observation simultanée de l'océan, de la glace de mer et de la basse atmosphère dans le but d'observer, comprendre et quantifier le changement climatique. La DT a participé au développement des prototypes et a été responsable des tâches d'industrialisation, d'intégration et de quelques déploiements.

- Réseau Sismologique et géodésique Français (RESIF), pour la compréhension des séismes et de la propagation des ondes sismiques, pour une meilleure identification et gestion des risques naturels. Cet EquipEX est adossé à l'infrastructure de recherche du même nom, dans lequel la DT coordonne les investissements, gère directement les instruments mobiles et contribue, là aussi, au système d'information de l'EquipEX.

1.2. Organisation générale

La DT regroupe actuellement 72 agents (52 ITA permanents et 20 marins), tous employés par le CNRS.

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.
- Meudon - Bellevue, sur le site de la DR5 : une vingtaine d'agents, dépendant de la DR5.
- Plouzané, dans les locaux de l'IPEV : treize agents, dépendant de la DR17.

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.

L'organisation de l'Unité est articulée autour des trois sites. Ceux-ci s'appuient sur les services transverses que sont le service Secrétariat-Gestion RH, le service gestion financière et comptable, et le service Infrastructure Informatique.

Sur les cinq années considérées, l'effectif permanent de l'unité est passé de 53 à 51 ITA, le site de Meudon étant celui subissant le plus de départs vu sa pyramide des âges.

2. Les projets

2.1. APASCHsw

Autonomous pH and Alkalinity Sensor by Colorimetry for fresh waters and sea waters

Laboratoire demandeur : LOCEAN Paris 6.

Chercheur : Diana Ruiz-Pino.

Partenaires : IPGP, DT-INSU.

2.1.1. Objectifs scientifiques

L'étude du cycle du carbone est une problématique complexe puisque cet élément intervient dans de nombreux processus industriels, géologiques, climatiques et biologiques. Le rôle joué par l'océan, en tant que pompe de CO₂ de l'atmosphère fait de ce réservoir un régulateur majeur du changement climatique. Le rôle des eaux continentales (lacs, rivières et eaux souterraines) dans ce cycle a longtemps été sous-évalué de par leur faible proportion de couverture terrestre (3%). Depuis quelques décennies maintenant, ce rôle est clairement avéré, suscitant un intérêt grandissant de la communauté scientifique.

Une des limitations essentielles aux études du cycle du carbone dans ces systèmes est l'absence de moyens de mesures in-situ haute fréquence permettant le suivi à long terme. Le réchauffement climatique affecte de manière cruciale le pH et les prévisions suggèrent que la diminution serait de 0.1 à 0.2 unités pH sur un siècle. C'est pourquoi il est indispensable de pouvoir déceler des variations de 0.001 unité pH.

2.1.2. Description technique

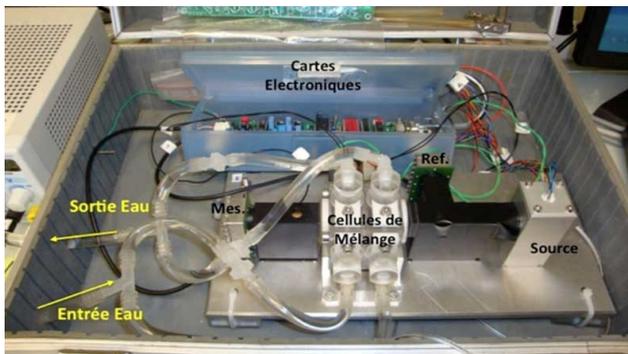


Figure 1 : APASCH version laboratoire

Le capteur APASCH a été développé dans le cadre d'une thèse suivie d'un post-doc (IPGP 2009-2012) pour l'étude du pH et de l'alcalinité dans les lacs. Les grandeurs sont mesurées par spectrophotométrie d'un mélange échantillon / indicateur coloré. Cet instrument a été développé et mis au point par la DT.

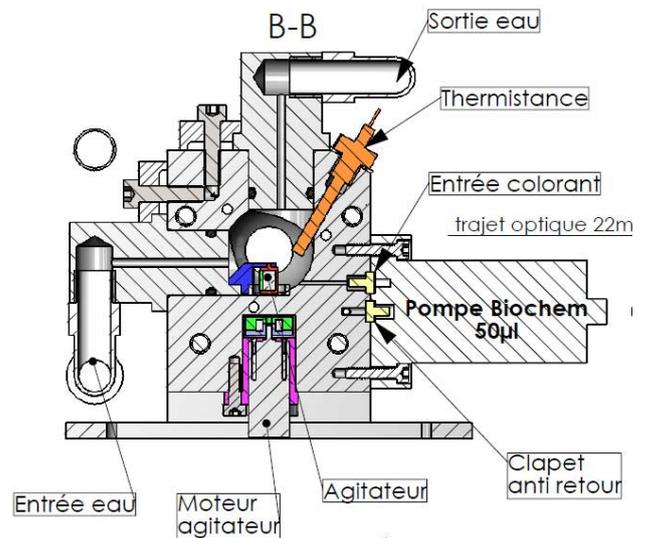


Figure 2 : Coupe de la cellule de mesure pH-alcalinité

Le capteur a ensuite été utilisé pour adapter la chimie du colorant au milieu marin qui est plus tamponné mais demande une meilleure précision et résolution que les eaux continentales.

Ce nouveau capteur, baptisé APASCHsw, a participé à plusieurs campagnes de mesures sur des navires océanographiques. L'intercomparaison avec d'autres capteurs non chimiques (électrode, ISFET) a montré tout l'intérêt d'une mesure absolue et directe et l'originalité du capteur qui quantifie simultanément le pH et l'alcalinité sur le même échantillon d'eau.



Figure 3 : Intercomparaison sur navire océanographique

2.1.3. Activités, campagnes

Campagnes océanographiques Chinare en 2016 et 2018, Moose en 2017 et 2019.

2.1.4. Perspectives

- Ajout d'un standard par mesure.
- Spectro-colorimètre dans cylindre IP67.
- Capteur dans cylindre étanche IP68 pour mesures de subsurface.

- Datalogger basse consommation.
- Miniaturisation.
- Capteur autonome.
- Transmission satellite.
- Version profonde 100 m.

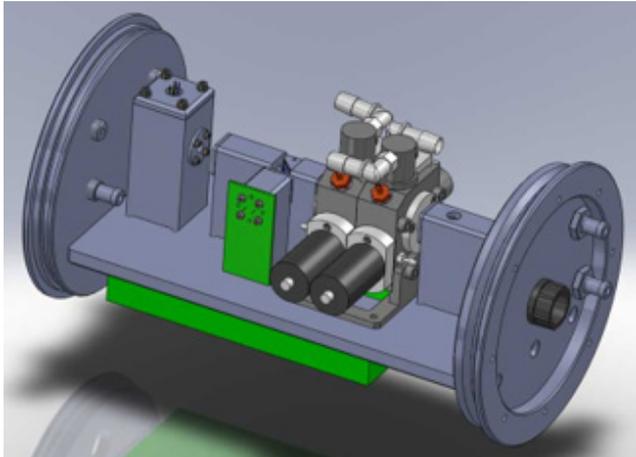


Figure 4 : Spectro-colorimètre étanche IP67 et sa cellule double

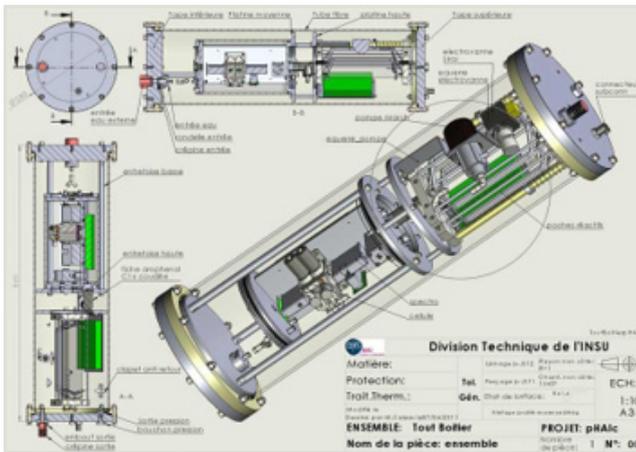


Figure 5 : APASCH version mesures de subsurface



Figure 6 : Electronique du spectro-colorimètre



Figure 7 : Automate basse consommation

Publications ou posters :

- IMARPE (Lima 2015).
- METI (Ankara 2016).
- Congrès international (Huajira 2018).
- Calibration APASCHsw (stages 2015, 2019).
- Sea Ice in the Earth System (Brest 2019).
- International workshop (Hangzhou 2019).

Personnel DT impliqué :

Cédric Brachet, Michel Calzas, Christine Drezen, Antoine Guillot.

Contact :

antoine.guillot@cnsr.fr

2.2. ASTAN

Laboratoire demandeur : Station Biologique de Roscoff.

PI : Yann Bozec.

2.2.1. Objectifs scientifiques

L'observatoire de la station biologique de Roscoff a une longue expérience dans les séries temporelles et les prélèvements in situ de paramètres biogéochimiques. Depuis 1997, le laboratoire fait partie du réseau national SOMLIT, labellisé par l'INSU. Les objectifs de ce réseau sont d'établir des séries temporelles sur le long terme afin de caractériser un milieu naturel et de mettre en évidence les forçages climatiques et/ou anthropogéniques l'affectant. Les prélèvements mis en place dans le cadre de ce programme ont lieu tous les 15 jours et sont donc susceptibles de manquer les événements se produisant entre les dates de prélèvements programmés.

C'est pour ces raisons que nous avons décidé en 2007 d'instrumenter une bouée cardinale au large de Roscoff avec un système de mesure autonome haute fréquence. L'objectif est de mieux comprendre le fonctionnement de cet écosystème marin extrêmement dynamique de la Manche occidentale.

2.2.2. Description technique

Les équipements suivants ont été développés :

- Amélioration des communications entre la bouée et la station biologique pour ne plus passer par un opérateur (SFR ou Orange) : communication par la technologie ZigBee.
- Intégration d'un analyseur in situ de pression partielle de CO₂ (pCO₂) de type SAMI2-CO₂.
- Réalisation d'un second caisson étanche afin d'améliorer la maintenance in situ.

2.2.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

- Déploiement du capteur SAMI en 2015.
- Installation du nouveau module de communication en 2017.

2.2.4. Perspectives

La bouée est opérationnelle et transmet ses données toutes les 30 min à la Station Biologique de Roscoff.

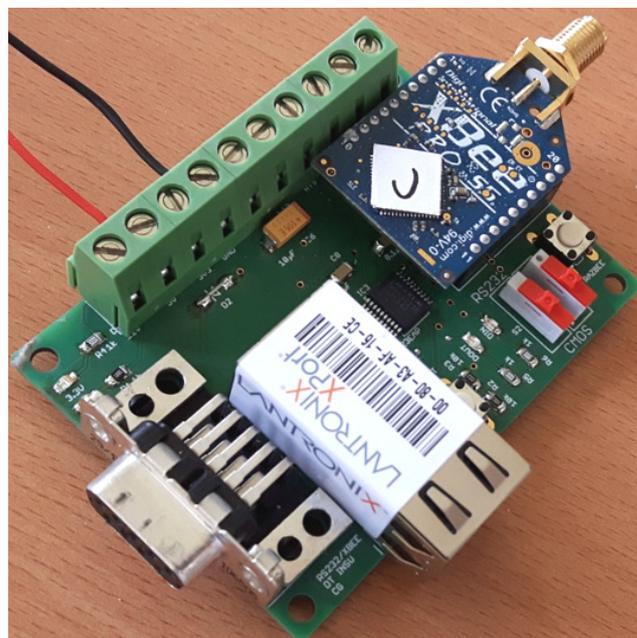


Figure 8 : Module de réception ZigBee

Publications ou posters :

2016 : Real time ocean observing system from a cardinal buoy in the western english channel.

Personnel DT impliqué :

Christophe Guillerm.

Contact :

DT : christophe.guillerm@cnsr.fr

Roscoff : cariou@sb-roscoff.fr

2.3. Banc photo

Laboratoire demandeur : Cerege.

Chercheur : Doriane Delanghe.

2.3.1. Objectifs scientifiques

Le CEREGE (Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement) est une UMR dédiée aux sciences de l'environnement. De nombreux projets scientifiques portés par les équipes du laboratoire reposent sur l'acquisition de séquences sédimentaires à partir desquelles sont analysés un grand nombre de traceurs de nature chimique, géochimique et biologique. Pour leur analyse, le Cerege propose une large gamme d'outils analytiques reconnus internationalement pour leur acquisition sur carottes sédimentaires marines et continentales (géochimie semi-quantitative ITRAX-XRF, propriétés magnétiques, datations absolues, MC-ICPMS, granulométrie, géochimie des isotopes stables...).

Mais la première donnée photographique continue des carottes fraîchement ouvertes n'est pas réalisée en routine sur les sondages faute d'équipement dédié. Pourtant, cette information est un prérequis essentiel à la mise en place de la stratigraphie et de la description lithologique.

Il a donc été décidé de concevoir un banc photo permettant l'acquisition photographique haute résolution (20 μm) des carottes sédimentaires et rocheuses.

2.3.2. Description technique

Appareil photographique :

Le système, en cours de développement, sera composé d'une colonne motorisée supportant l'appareil photographique.

Eclairage :

Les tests ont montré qu'un éclairage indirect par 2 flashes disposés de part et d'autre de la carotte donnait les meilleurs résultats en termes d'homogénéité de lumière sur surface courbe (carotte cylindrique) et réfléchissante (sédiment humide).

Guidage :

Deux unités de guidage à double chariots de 2800 mm et montées en parallèle (1 unité motorisée par servomoteur, 1 libre) traduisent une table optique portant les supports de carottes selon leurs types sous la caméra.

Tourne cylindre :

Deux rouleaux de type convoyeur de 1 m de longueur mis en parallèle et motorisés par servomoteur permettent la mise en rotation de la carotte rocheuse avec un pas très précis sous la caméra.

Contrôle commande :

Les moteurs, ainsi que le déclenchement de la caméra, seront pilotés par Labview, sur un développement Cerege.

Traitement image :

La recomposition des images sera faite par le logiciel Mozaik Builder développé sous Labview par le Cerege.

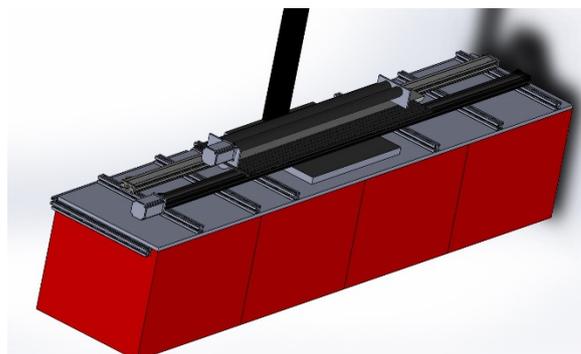


Figure 9 : Unités de guidage et tourne-cylindre

Personnel DT impliqué :

Arnaud Le Ridant.

Contact :

arnaud.le-ridant@cnr.fr

2.4. BIOCAREX

BIOOptics and CARbon EXperiment

Laboratoire demandeur : LOCEAN.

Chercheur : Jacqueline Boutin.

2.4.1. Objectifs scientifiques

Le projet vise à obtenir la mesure de la pression partielle de CO₂ (pCO₂), de la concentration en oxygène, de la température et de la salinité à 3 et 10 m sous la surface de l'océan au site Boussole (Méditerranée). Les données permettent d'analyser les processus physiques et biogéochimiques responsables de la variabilité de pCO₂ et O₂, de déterminer la production biologique et de vérifier les hypothèses sous-jacentes aux estimations de production biologique quant à l'homogénéité des variables physiques et biogéochimiques dans la couche de mélange.

2.4.2. Description technique

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

- Résistance 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.

Les capteurs effectuent des mesures horaires de pCO₂ et température.

2.4.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

4 capteurs de pCO₂ ont été développés et fabriqués par la DT-INSU. Ces capteurs, ainsi que des optodes (O₂) et des thermosalinographes (température et salinité) sont déployés à tour de rôle à 3 m et 10 m sur la bouée Boussole et sont permutés tous les 6 à 8 mois depuis 2013.

16 déploiements ont eu lieu entre 2015 et 2019.

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.

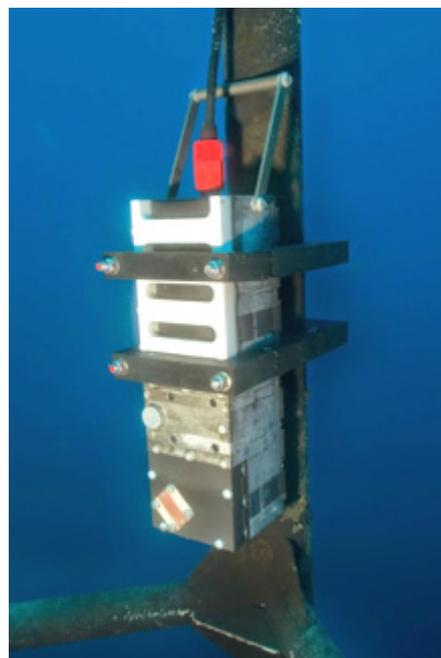


Figure 10 : Capteur pCO₂ déployé sur la bouée Boussole

2.4.4. Perspectives

L'ANR BIOCAREX s'est terminée fin 2016 mais le projet continue afin de poursuivre les observations de CO₂ en Méditerranée.

Une mise à niveau du capteur pCO₂ et en particulier de l'électronique est en cours.

Publication :

Merlivat L., Boutin J., Antoine D., Beaumont L., Golbol M., and Vellucci V.: « Increase of dissolved inorganic carbon and decrease in pH in nearsurface waters in the Mediterranean Sea during the past two decades », *Biogeosciences*, 15, 5653–5662, 2018.

<https://doi.org/10.5194/bg-15-5653-2018>

Personnel DT impliqué :

Benoit Arnold, Hervé Barrois, Laurence Beaumont.

Contact :

laurence.beaumont@cnsr.fr

2.5. CALYPSO IV

Laboratoire demandeur : IPEV.

Chercheur : Hélène Leau.

2.5.1. Objectifs scientifiques

Il s'agit, d'une part d'améliorer la qualité des prélèvements en assurant la maîtrise de la hauteur de chute des carottiers marins sédimentaires à piston stationnaire par méthode acoustique, et d'autre part de simplifier et accélérer les opérations du carottier Calypso.

2.5.2. Description technique

Il a été décidé de remplacer le système de déclenchement mécanique par un système électro acoustique, par la mise en communication d'un système de largage acoustique avec un altimètre. En parallèle, il faut créer les éléments mécaniques pour l'intégration de ces éléments sur un carottier géant Calypso.

En 2014, un premier prototype a été perdu. Une nouvelle version a été dessinée, et développée dans le courant des deux années suivantes.

2.5.3. Activités, campagnes

Tests du prototype concluants pendant la campagne d'essai NAUSINOOS 2 sur le Marion Dufresne en 2017.

2.5.4. Perspectives

Le système a été breveté (brevet déposé via la SATT Ouest Valorisation), il est en vente sous licence exclusive dans une entreprise extérieure. On peut désormais espérer des ventes pour le CNRS.

Personnel DT impliqué :

Yvan R  aud, Christophe Guillerm.

Contact :

DT : christophe.guillerm@cnrs.fr

Genavir : yreaud@genavir.fr



Figure 11 : Vue intérieure du largueur acoustique

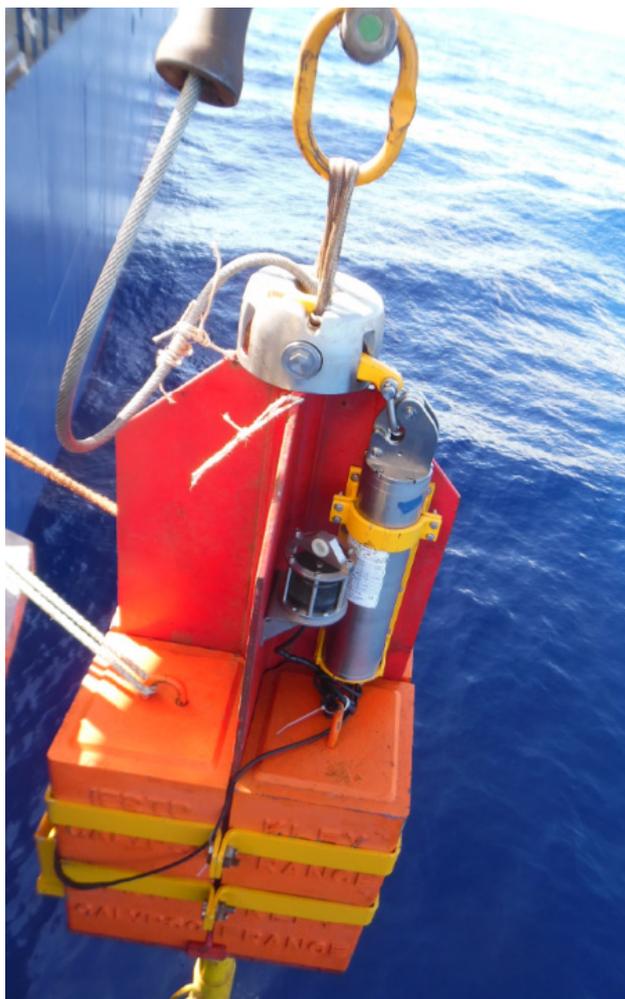


Figure 12 : Test du Calypso IV en juillet 2017

2.6. CHEOPS

CHaracterising ExOPlanets Satellite

Laboratoire demandeur : LAM.

Chercheur : Magali Deleuil.

2.6.1. Objectifs scientifiques

Il s'agit de mesurer en haute précision le transit des exoplanètes déjà connues, afin de déterminer avec précision leurs paramètres et ainsi connaître leur nature. L'instrument enchaînera les visites de cibles individuelles lors de leur transit. Dans le cas idéal, la photométrie de CHEOPS informant sur la taille et l'orbite de la planète pourra être couplée à des observations au sol permettant d'évaluer la masse de la planète. Cette association renseignera sur la nature de la planète et partant, sur sa structure interne.

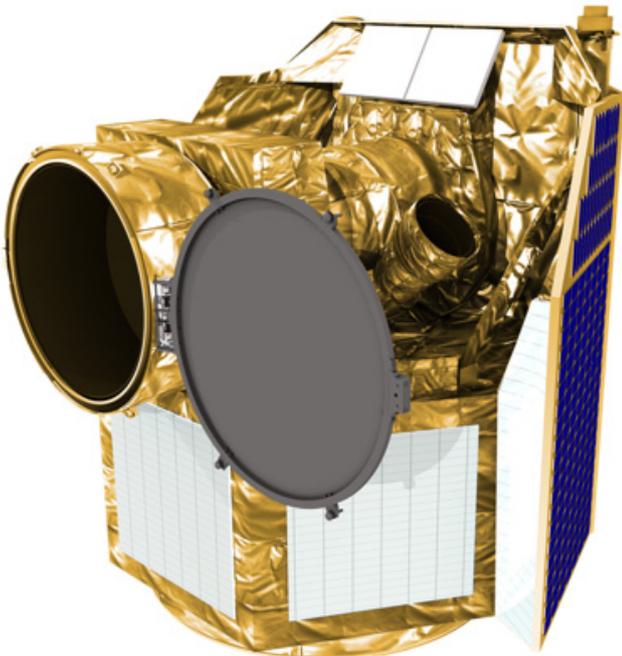


Figure 13 : Satellite CHEOPS

2.6.2. Description technique

CHEOPS est la première mission de classe S du programme scientifique Cosmic Vision de l'ESA, caractérisée par un temps de développement court et un coût réduit. Elle est développée conjointement par l'agence spatiale suisse et l'ESA.

La DT est chargée de coordonner et de participer au développement du pipeline de réduction automatique des données. Il s'agit du Work Package 10 du segment sol.

2.6.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

Activités :

- Interaction avec le projet.

- Supervision du design.
- Participation à la programmation des algorithmes de calibration et de correction des facteurs instrumentaux et environnementaux, tels le trainage dû à la lecture du CCD en l'absence d'obturateur, les artefacts causés par les impacts de rayons cosmiques, la suppression du fond de ciel dont une correction imparfaite induit une erreur d'estimation du rayon planétaire.
- Etudes d'amélioration des algorithmes.

La réalisation est très contrainte par l'environnement projet et l'infrastructure de développement.

Campagnes :

Tous les tests et revues ont été passés avec succès :

- SOC acceptance tests.
- Science validation tests.
- Ground segment readiness revue.
- Répétitions de la séquence de commissioning en orbite.

Déploiements :

CHEOPS a été placé en orbite le 18 décembre 2019 par un lanceur Soyuz-Fregat décollant de la base de lancement de Kourou.

2.6.4. Perspectives

- Commissioning en orbite.
- Restauration des performances avec les données réelles.
- Cycle d'optimisations opérationnelles des algorithmes.

Publication :

« Expected performances of the Characterising Exoplanet Satellite (CHEOPS) III. Data reduction pipeline: architecture and simulated performances », *Astronomy&Astrophysics*, September 2019. (<http://arxiv.org/abs/1909.08363>).

Personnel DT impliqué :

Pascal Guterman.

Contact :

pascal.guterman@cnr.fr

2.7. CIMEL

Etablissement demandeur : SAFIRE UMS2859.

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

2.7.1. Objectifs scientifiques

Un nouveau lidar commercial est intégré à bord des avions de recherche atmosphérique ATR-42 et Falcon 20 mis en œuvre par SAFIRE. Il doit faire partie des instruments de base à disposition des équipes scientifiques. Avant cela, la structure porteuse 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.

2.7.2. Description technique

Le lidar CIMEL lui-même n'est pas concerné par l'analyse, il est exclu de la simulation en faisant l'hypothèse qu'il contribue uniquement par sa masse égale à 31 kg.

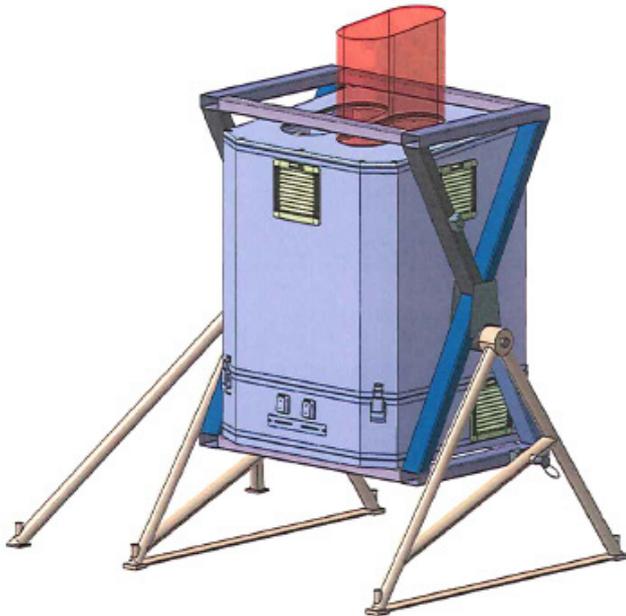


Figure 14 : Le lidar CIMEL en position de visée vers le zénith, avec son châssis et sa cage (CAO de L.Guiraud)

Sa liaison aux rails de l'avion est constituée d'un châssis tubulaire, tandis que le lidar est inséré dans une cage avec un axe de rotation lui permettant de tenir deux positions de visée dans les avions : vers le zénith et vers le nadir.

2.7.3. Activités de la DT

Les simulations numériques sont réalisées début 2017 à l'aide d'une modélisation par éléments finis et d'un solveur statique non-linéaire. Pour chacun des 2

avions, et pour chacune des 2 orientations de visée, il y a 6 cas de charge en accélération.

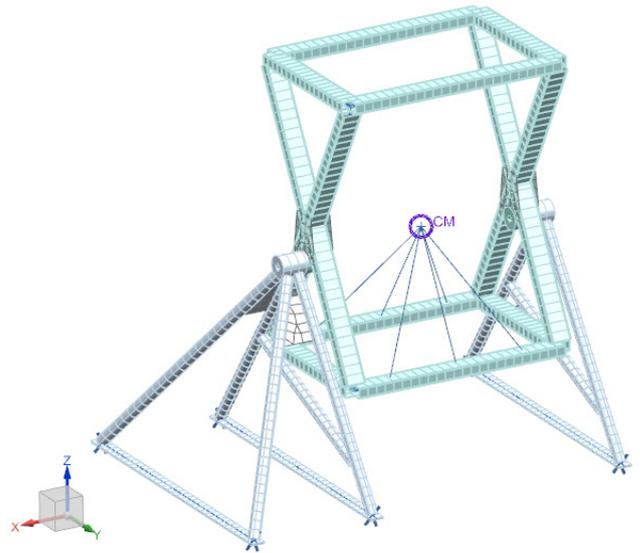


Figure 15 : Modèle éléments finis de la structure tubulaire destinée à l'ATR-42 en position zénith

La justification de la tenue structurale est obtenue par le calcul des coefficients de sécurité par rapport à la résistance à la rupture des matériaux, et par le calcul des forces de réaction aux points d'ancrage.

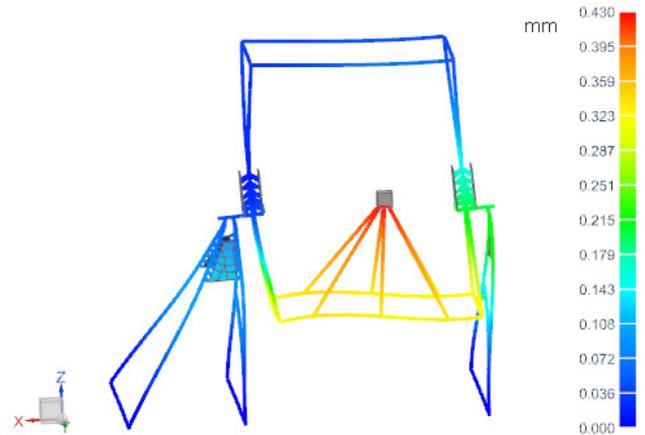


Figure 16 : Déplacements calculés dans le cas d'une accélération

Un rapport spécifique à chaque avion est finalement fourni à SAFIRE pour être joint au dossier de certification envoyé à la DGAC.

Personnel DT impliqué :

Christophe Berthod, modélisation, calculs de structure.

Contact :

christophe.berthod@cnsr.fr

2.8. CLIMCOR

Laboratoire demandeur : INSU-C2FN

PI : Denis-Didier Rousseau

Co-PI : Michel Calzas

Partenaires : IPEV, IGE, EDYTEM, EPOC, DT-INSU, CMA-CGM.

<http://climcor-equipex.dt.insu.cnrs.fr/?lang=fr>

2.8.1. Objectifs scientifiques

CLIMCOR avait pour objectif de se doter de nouveaux moyens d'étude des archives climatiques de façon à disposer de reconstitution à haute résolution des variations climatiques et environnementales, en particulier au cours des derniers millénaires, dans les sédiments marins, les sédiments continentaux et les glaces.

Le projet reposait sur la construction de trois nouveaux outils de carottage et forage qui ont permis d'améliorer à la fois la qualité des échantillons recueillis et par conséquent nos moyens d'étude des variations du climat à des pas de temps extrêmement fins, ainsi que notre capacité à remonter dans le temps.

Cet Equipex a vu son périmètre élargi en 2013. En effet le Ministère de la Recherche a décidé que la modernisation du navire Marion Dufresne serait portée par CLIMCOR.

Le budget alloué au projet est de 4,7 M€ sur 7 ans augmenté de 13 M€ pour la refonte du Marion Dufresne.

2.8.2. Description technique

Les équipements suivants ont été développés :

WP1 Glace :

- Borehole logger (mesure de la géométrie des trous de forage) et Sonic logger (mesure de la fabrique de la glace).



Figure 17 : Caravanes scientifiques, DDU Antarctique (WP1)

- Caravanes pour traverses scientifiques sur la glace pendant plusieurs semaines (Antarctique).
- Carottiers propres (sans contaminant) et hautes altitudes (léger pour très haute montagne), câbles et treuil pour opérer la sonde Subglacier.

WP2 Continent :

- Partie terrestre : 5 nouveaux carottiers et 2 marteaux fond de trou (pour différents sédiments).
- Partie lacustre : acquisition d'une plateforme modulable, Down hole hammer et marteau hydraulique à eau.
- Partie littorale : acquisition d'un ensemble Amaury.
- Partie logistique : plusieurs véhicules, remorques et Zodiac pour accéder aux zones de carottages.



Figure 18 : Logistique pour carottage continental (WP2)

WP3 Océan :

- Développement d'un câble de carottage spécifique et du treuil associé.
- Partie Marion Dufresne : nouveaux sondeurs, portiques, ADCP, modification îlot, pavois, réseau, ferry box.



Figure 19 : Câble textile de 7200 mètres (WP3)



Figure 20 : Treuil de 45 tonnes (WP3)

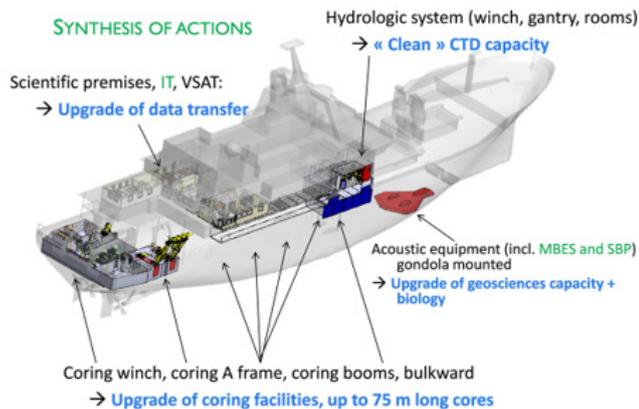


Figure 21 : Modernisation du Marion Dufresne

Cybercarothèque :

Un logiciel de géo-référencement et de logging des carottes a été développé pendant cet Equipex (<https://cybercarotheque.fr/>).

2.8.3. Activités, campagnes

WP1 Glace : Ice Memory (Mont Blanc, Elbrouz, Illimani). ANR ASUMA, ANR Subglacier, ERC Ice and Laser (Antarctique).



Figure 22 : Ice memory au Mont Blanc ©Sarah Del Ben/Wild Touch/Fondation UGA (WP1)

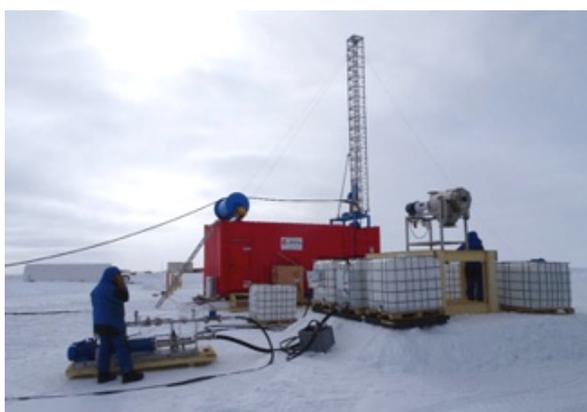


Figure 23 : Subglacier installation, Dome C Antartique (WP1)

WP2 Continent : Carottages dans les lacs alpins, en Provence, ANR Golden Spike (Orléans), 3 ANF organisées (Satillieu, La Grande Motte, lac d'Aiguebelette).

WP3 Océan : ERC Acclimate (Namibie), campagnes océanographique Mobydick-Themisto, ANR Soclim, Crotale (Kerguelen).



Figure 24 : Sondage lacustre Hydro au lac du Bourget (WP2)



Figure 25 : Carottier russe de Golden Spike à Orléans (WP2)

2.8.4. Perspectives

Les instruments développés pour la glace sont disponibles et gérés par l'IGE, ceux de l'océan par l'Ifremer et ceux du continental par la DT-INSU via le Service National de Carottage.

Posters :

A l'AGU de San Francisco (12/2014) et Washington (12/2018), EGU de Vienne (04/2019), INQUA de Dublin (07/2019).

Personnel DT impliqué :

Elodie Godinho, Françoise Le Corre, Laurent Augustin, Alain De Moya, Frédéric Le Moal, Yvan Réaud, Michel Calzas.

Contact :

michel.calzas@cnsr.fr

2.9. CubeSats

Etablissement demandeur : LISA.

Demandeur : Noël Grand.

2.9.1. Objectifs scientifiques

Il y a deux instruments dans la demandes CubeSats.

CubeSat 3U OGMS-SA (OutGassing Material Study by Spectroscopy Analysis) :

Le CubeSat 3U OGMS-SA est un démonstrateur technologique pour tester la faisabilité d'une mesure par la technique CRDS (Cavity Ring Down Spectroscopy) en orbite.

CubeSat 6U IR-COASTER (InfraRed - Cubic Orbital Astrobiology Exposure Research) :

Le CubeSat 6U IR-COASTER est une plateforme d'exposition aux rayonnements solaires UV d'échantillons organiques d'intérêt astrochimique et exobiologique, par exemple pour l'étude de la chimie organique des comètes ou de la surface de Mars. Il embarque un spectromètre infrarouge commercial miniature.

2.9.2. Activités de la DT

CubeSat 3U OGMS-SA :

Développé par des étudiants de l'Université de Créteil, le projet est arrivé en phase C (finition et développement) à la DT au 2ème semestre 2018. Les études ont porté sur la structure en Windform XT 2.0 (impression 3D qualifiée spatiale chez CRP Technology, Italie) et la modification de celle-ci en raison d'améliorations et d'implantations des sous-ensembles suite à l'intégration des roues à inerties. Nous avons aussi travaillé sur l'étude de l'ouverture et de la fermeture des panneaux solaires par un mécanisme avec des ressorts à mémoire de forme SMA (Shape Memory Alloy). Les ressorts sont commercialisés par SAES GETTERS (USA), ils ont juste un standard en ressort de traction ($\varnothing 6$ mm un peu trop grand pour l'espace pourvu) qui est abordable financièrement, les autres sont faits sur mesure et sont très onéreux. Benoit Lemaire a fabriqué le mécanisme et l'impression 3D pour simuler celui-ci. Il a déstructuré le SMA $\varnothing 6$ mm puis l'a restructuré au $\varnothing 4$ mm en le chauffant. Nous avons validé le mécanisme avec des tests d'ouverture et de fermeture. Après ce succès, le CNES nous a demandé de faire un système d'ouverture des antennes du CubeSat, ce que nous avons réalisé avec un mécanisme à base de ressorts SMA. Les tests faits à l'atelier sont concluants, mais il faut améliorer les finitions (sertissage pour soudure des fils électrique). Entre temps, la structure a été réalisée chez CRP

Technology et montée avec les sous-ensembles. Elle a été contrôlée par la DT et doit être passée aux tests thermiques.



Figure 26 : Vue CAO du CubeSat 3U et sa structure imprimée 3D

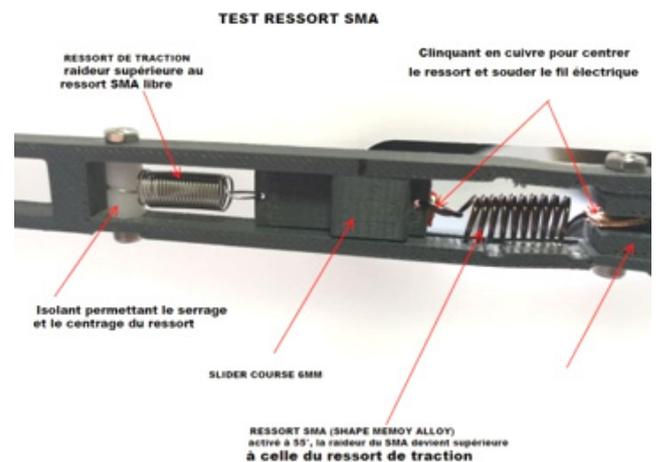


Figure 27 : Les ressorts SMA dans un mécanisme du CubeSat

CubeSat 6U IR-COASTER :

L'étude préliminaire a été faite par une étudiante de l'Université de Créteil, puis le projet est arrivé à la DT au 2ème semestre 2018. Il y a 2 CubeSats à réaliser : un pour des tests sur l'ISS (objet du soutien de la DT) et un second pour lancement. Les tâches ont consisté à reprendre complètement la structure ainsi que l'alignement des sous-ensembles : échantillonneur, spectromètre et détecteur. Nous avons réalisé l'étude d'un échantillonneur porteur de 18 échantillons, soit 9 exposés au rayonnements et les 9 autres à l'abri, sachant que les 18 échantillons sont ensuite analysés. L'échantillonneur est interchangeable rapidement par un système quart de tour, ce qui permet d'exposer plus d'échantillons. Les tests de l'échantillonneur fabriqué en impression 3D ont été réalisés au LISA et validés.

départ à la retraite), un ingénieur mécanicien continue le projet sur un contrat CDD au LISA.

Personnel DT impliqué :

Thierry Lesourd.

Benoit Lemaire.

Contact :

thierry.lesourd@cnr.fr

benoit.lemaire@cnr.fr

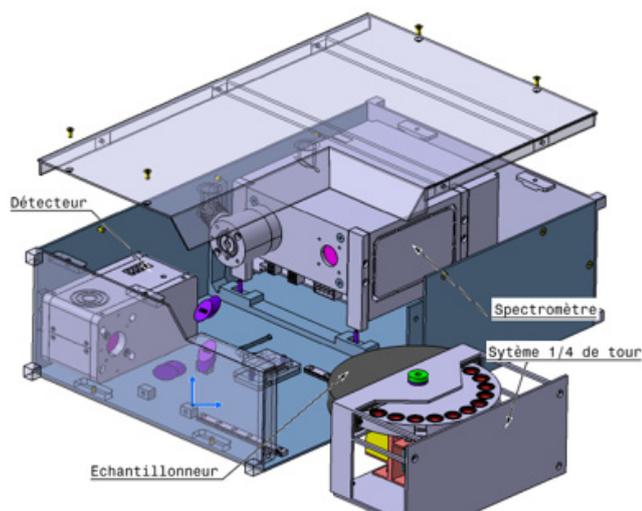


Figure 28 : Vue éclatée du CubeSat 6U

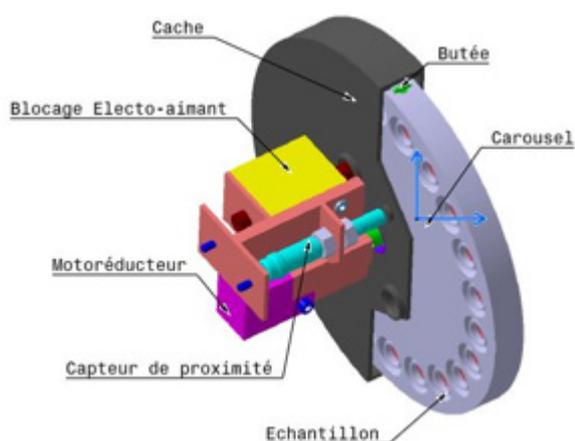


Figure 29 : Echantillonneur du CubeSat 6U

2.9.3. Perspectives

CubeSat 3U OGMS-SA :

Un simulateur du P-POD (Poly-Picosatellite Orbital Deployer) est en cours de réalisation à l'atelier pour vérifier si le CubeSat, après les tests thermiques et des déformations de la structure, peut encore s'intégrer dedans sans rectification. La finition et l'intégration des mécanismes pour l'ouverture des panneaux solaires et des antennes doivent être effectuées. Le lancement est pour le moment prévu fin 2020. La DT n'est plus impliquée dans ce projet à partir de fin février 2020 (cause départ à la retraite).

CubeSat 6U IR-COASTER :

Il s'agit de faire fabriquer la nouvelle structure et les échantillonneurs avec leur système de remplacement par vis quart de tour, et de mettre en place le système d'ouverture des antennes étudié précédemment sur le CubeSat 3U OGMS-SA. La DT ne sera plus impliquée dans ce projet à partir de fin février 2020 (cause

2.10. Cyber Carothèque Nationale

<https://www.cybercarotheque.fr>

Laboratoire demandeur : EDYTEM / EPOC.

Chercheur : Fabien Arnaud / Xavier Crosta.

2.10.1. Objectifs scientifiques

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

2.10.2. Description technique

Le système est constitué d'un portail de visualisation, et d'une interface de saisie de rapport de mission en ligne ou grâce à une application mobile (développée par Bruno Galabertier d'EDYTEM).

Le portail permet de porter à la connaissance 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 l'application mobile ou en ligne. L'interface de saisie en ligne est en cours de finalisation, l'application mobile est opérationnelle.

On attribue ensuite à chaque échantillon un identifiant unique international : IGSN (International Geo Sample Number) qui permet le suivi de la carotte tout au long de sa vie.

2.10.3. Perspectives

Les prochaines étapes du projet sont :

- Le transfert de l'hébergement du système à l'OASU EPOC.
- L'interopérabilité avec le logiciel de suivi des échantillons Collec-Science.
- L'attribution de numéros IGSN non plus par l'allocation agent SESAR mais par celui de l'INSU.

Publications :

- <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01616109>
- <https://hal.inria.fr/hal-01887390/>
- <https://hal.inria.fr/hal-01616081v1>
- <https://hal.inria.fr/hal-01616096v1>
- <https://hal.inria.fr/hal-01616086v1>
- <https://hal.inria.fr/hal-01887390v1>

Personnel DT impliqué :

Elodie Godinho.

Contacts :

Fabien Arnaud : fabien.arnaud@univ-smb.fr

Xavier Crosta : xavier.crosta@u-bordeaux.fr

Bruno Galabertier : bruno.galabertier@univ-smb.fr

Elodie Godinho : elodie.godinho@cnr.fr



Figure 30 : Page d'accueil de la Cyber Carothèque Nationale

2.11. Cyclopée

Laboratoire demandeur : Observatoire de Paris Meudon (laboratoire Syrte).

Chercheur : Pascal Bonnefond.

2.11.1. Objectifs scientifiques

Suite aux développements de la DT pour construire un GPS mobile pour la cartographie de la surface de la mer pouvant être remorqué à vitesse élevée (nappe GPS), la DT a été sollicitée pour compléter le dispositif par Cyclopée, un système couplé altimètre/GPS pour mesurer la surface libre de l'eau. Le support d'antenne est cette fois-ci le bateau. Cela permet d'atteindre des vitesses de déplacement plus importantes et de réduire l'équipement utile par rapport à la nappe tractée. L'idée de mesurer en temps réel, simultanément aux mesures GPS, la position de l'antenne au-dessus du niveau de la mer, permet de s'affranchir d'une calibration de l'attitude du bateau et de tenter d'obtenir une précision centimétrique.

2.11.2. Le système Cyclopée



Figure 31 : Système Cyclopée monté à l'avant du navire : altimètre acoustique, antenne GPS et inclinomètre montés sur bras stabilisateur

Cyclopée a été développé dans le cadre de FOAM (From Ocean to inland waters Altimetry Monitoring). L'objectif est de réaliser un système couplé composé d'un altimètre pour mesurer la distance par rapport à la surface de l'eau et d'un GPS permettant de mesurer l'altitude du système. En connaissant précisément la distance entre le point de référence de l'antenne GPS et celui de l'altimètre, on peut déduire la hauteur de la surface de l'eau. L'altimètre acoustique est capable de mesurer une distance entre la surface de la mer et

l'antenne GPS dans des conditions de roulis/tangage puisque le système est installé sur un bras stabilisateur.

2.11.3. Description technique

La partie aérienne est équipée de :

- Un altimètre acoustique ToughSonic 14 (portée 3 m), de 20 Hz à 50 Hz, compensé en température, faisceau de 12°.
- Un inclinomètre Ellipse A SBG System, 0.2°, 50 Hz, ou DOG2 Pewatron, 0.15°, 50 Hz.
- Une antenne GPS.
- Un bras stabilisateur Zhiyun crane 2 ou DJI Ronin S.

Le boîtier de commande est constitué de :

- Un Raspberry 3B+.
- Un boîtier GPS net R9 ou BX 940 Trimble.
- Un routeur Ethernet et wifi.
- Un régulateur 12V/5V.

Le dispositif est alimenté par une batterie 12 V. Le dispositif est marinisé par l'ajout d'une gaine étanche (tyvek) sur la partie aérienne.

L'ensemble est piloté par la 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.



Figure 32 : L'interface de visualisation

2.11.4. Activités

Le projet a été financé en 2016 à hauteur de 23 k€ 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 a assuré la participation à la mise en œuvre au bassin d'essai Ifremer et sur la Gironde.

2.11.5. Résultats et perspectives

Les premiers essais dans le bassin à houle d'Ifrermer ont permis de valider le choix de l'altimètre. En octobre 2018, le dispositif a été installé sur un bateau lors de la mission CalNa Gironde. Une intercomparaison a été effectuée avec un lidar embarqué sur un drone aérien ainsi qu'avec la nappe GPS tractée. Il en résulte une différence de l'ordre de 1 cm en absolu, ce qui reste dans les précisions souhaitées. Cyclopée sera testé en Corse sur le site de Senetosa en 2020.

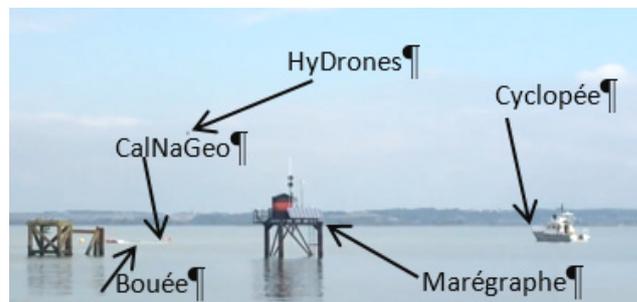


Figure 33 : Station au marégraphe de Lamena (Gironde) pour l'intercomparaison

Personnel DT impliqué :

Lionel Fichen, Christine Drezen.

Contact :

christine.drezen@cnr.fr

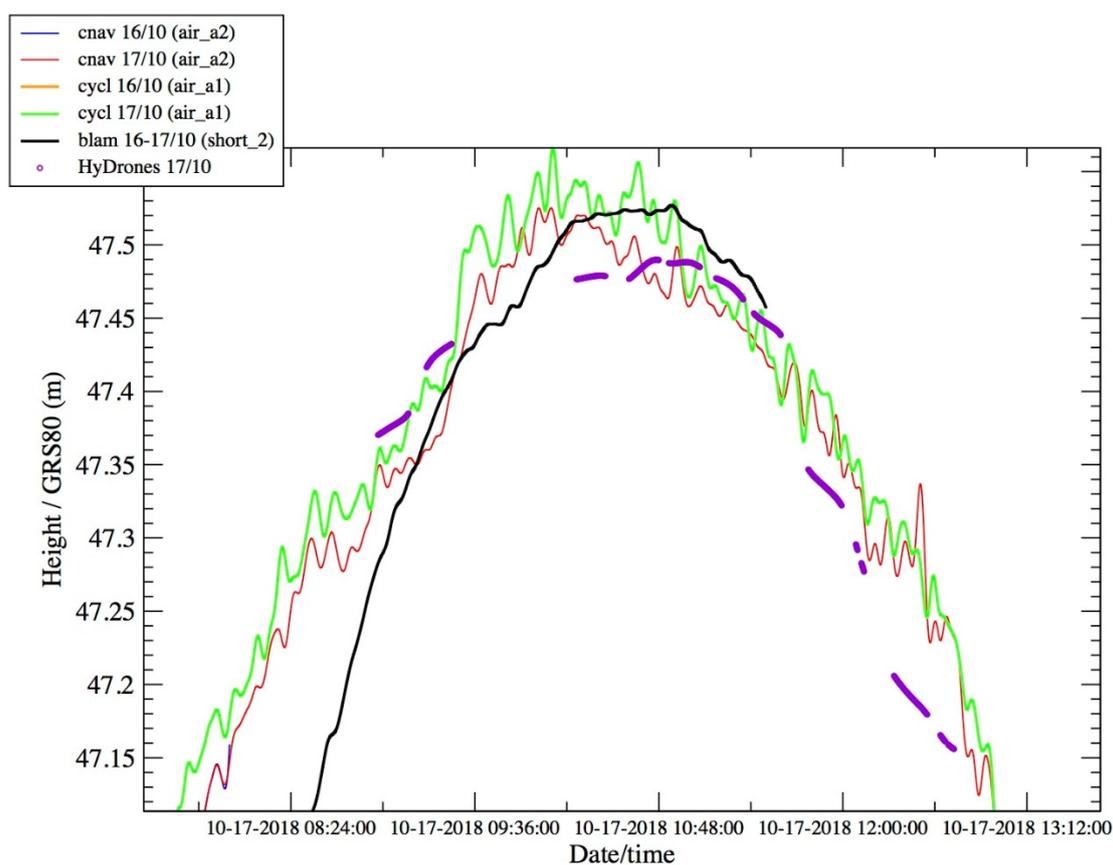


Figure 34 : Au marégraphe de Lamena sur la Gironde le 17/10/18 : Nappe GPS tractée CalNaGeo 1 Hz (rouge), Cyclopée 32 Hz (vert), bouée GPS statique 1 Hz (noir) et drone aérien (violet)

2.12. DEEPNET

Laboratoire demandeur : Institut Pythéas - OSU/MIO.

Chercheur : Karine Leblanc.

2.12.1. Objectifs scientifiques

DEEPNET est un filet à plancton inséré dans une bouteille de type Niskin modifiée, allant sur un carrousel CTD, et permettant d'échantillonner les stocks profonds de particules de manière quantitative (entre -1000 et -500 mètres de profondeur). Cet outil est nouveau pour la communauté, et permet d'accéder à un nouveau type d'échantillonnage sur des portions de la colonne d'eau répondant à de nouvelles questions sur la nature des particules en cours de sédimentation en milieu profond (pompe biologique du CO₂).

La concentration dans un volume filtré très important (plusieurs centaines de milliers de litres) permet d'obtenir des échantillons exploitables en terme de structure de communauté, génomique, stocks chimiques, dénombrement, marquages fluorescents..., ceci à partir d'une très faible densité réelle dans les eaux (10-20 particules par litre seulement), c'est à dire non caractérisable à partir d'une bouteille classique.

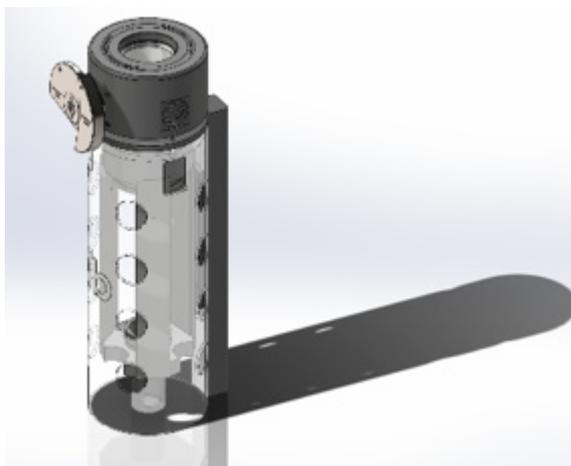


Figure 35 : Vue 3D de DEEPNET

2.12.2. Description technique

Compte tenu des aléas rencontrés avec BOTTLENET (pollution de l'échantillon par des organismes de surface, difficulté de mise en œuvre), il a été décidé de s'orienter vers un système qui utiliserait une fermeture à boisseau sphérique.

D'abord envisagée, la modification d'une bouteille dite Niskin s'est avérée irréalisable de par sa conception en assemblage PVC collé. La conception de DEEPNET a donc nécessité de repenser tout un système innovant, associant le principe d'une vanne à boisseau sphérique à une cartouche filtrante

amovible, qui permettra d'une part de récupérer les échantillons plus facilement, et d'autre part d'accélérer le reconditionnement du système entre deux profils.



Figure 36 : Le corps de DEEPNET sur une rosette CTD

Le prototype est en cours de fabrication, son assemblage est prévu pour février-mars 2020.

2.12.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

Des tests en mer sont programmés sur des sorties hebdomadaires à Marseille à réception du prototype au MIO.

Au printemps 2020, il est prévu un déploiement multi-outils (gel traps, marine snow catcher, bouteilles hyperbares, DEEPNET, filet à plancton, Niskin) lors de la campagne « Pompe Biologique » sur le site ANTARES au large de Toulon, déjà programmée et financée (PI Frédéric Lemoigne, CNRS, MIO).

2.12.4. Perspectives

Modèle déposé via la SATT Ouest Valorisation.

Personnel DT impliqué :

Cédric Brachet.

Contact :

cedric.brachet@cnsr.fr

2.13. Drop-sondage sous ballon

Thématique INSU : Océan-Atmosphère.

Laboratoire demandeur : INSU - CNES.

Chercheur : communauté Atmosphère INSU.

2.13.1. Objectifs scientifiques

En 2017-2018, le CNES et l'INSU ont constitué un groupe de travail sur le développement d'un système de drop-sondage sous ballon pour l'étude de paramètres géophysiques sur des profils verticaux depuis la stratosphère jusqu'au sol en zone non couverte par les stations météo conventionnelles (tropiques, océans, hautes latitudes). L'objectif de l'étude est de constituer une vision générale et d'identifier les actions à mener pour la conception d'une nacelle sous ballon pour le drop-sondage.

Actuellement, le drop-sondage se réalise essentiellement depuis un avion. Le système de drop-sondage à développer pourra être déployé sous différents types de ballons et permettra d'accéder à des profils verticaux de haute résolution de paramètres géophysiques de l'atmosphère.



Figure 37 : Exemple de drop-sonde pour avion

Ce type de drop-sondage sous ballon n'a été développé que par le NCAR (USA). Cependant, le développement du système du NCAR est actuellement stoppé et semble abandonné. Il n'y a pas d'information autre que les publications du NCAR sur le sujet.

2.13.2. Description technique

Les instruments auront en charge de mesurer certains paramètres de base de l'environnement (pression, température, humidité, position, vitesse) sur une colonne d'air de l'atmosphère (altitude de 30 à 22 km jusqu'au sol). D'autres types de mesures pourront être envisagés dans un second temps (particules, concentration de gaz traces, etc).

Les instruments en vol seront capables de communiquer avec les centres de contrôle au sol (via liaison satellite GNSS ou radio).

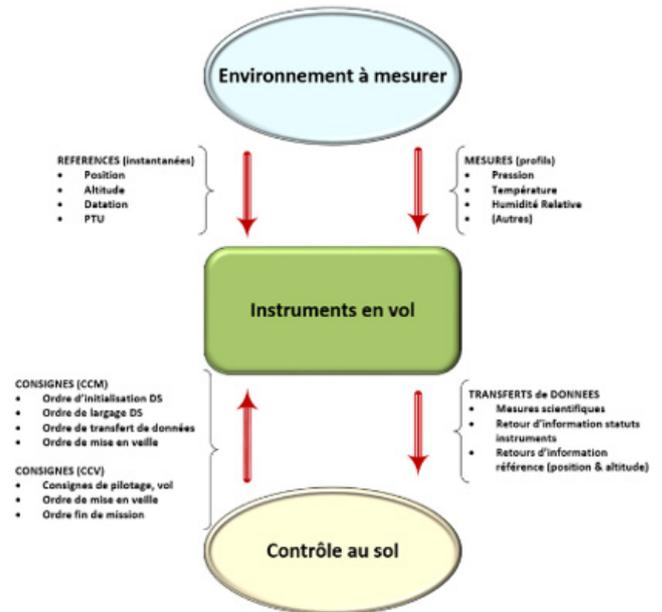


Figure 38 : Schéma fonctionnel du besoin

La plupart des drop-sondes pour avion ont un diamètre de 70 mm et sont freinées par un parachute ou une flamme, avec leurs instruments de mesure à l'opposé et dirigés vers le bas. Pour l'étude du concept de nacelle charge utile (NCU), le modèle de référence de drop-sonde se basera sur celui de la sonde MODEM (France) « drop-sonde DS » light (\varnothing 70 mm, h=115 mm, m=30 g).



Figure 39 : Drop-sondage par avion (sonde MODEM)

La nacelle NCU sera située sous la chaîne de vol de l'ensemble suspendu (ballon CNES type BSO ou BPS), elle accueillera les instruments scientifiques, gèrera les mesures, communiquera avec le PC mission. Le barillet sera prévu pour contenir environ 50 sondes. Après largage, la sonde devra pouvoir effectuer des séries de mesures pendant environ 20 minutes (selon l'altitude). Jusqu'à 4 sondes pourront être larguées simultanément ou avec un décalage de quelques minutes. Le contrôleur de bord devra pouvoir gérer la récupération de toutes les données (sur des bandes de fréquence différentes).

2.13.3. Activités

Le projet étant initialisé en phase « groupe de travail », une étude de concept a été menée en vue d'accompagner le CNES dans le design et le développement de la nacelle portant le barillet de drop-sondes pour apporter une aide au montage du dossier d'industrialisation de la nacelle.

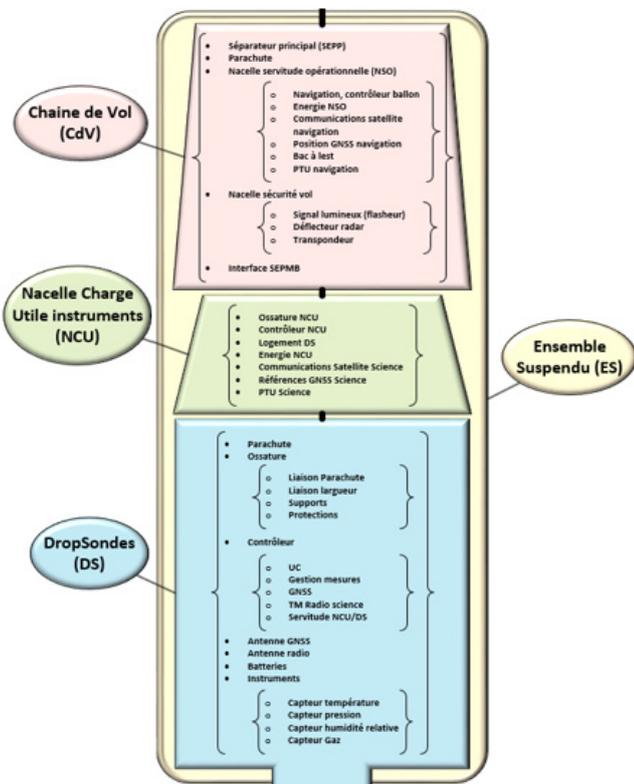


Figure 40 : Schéma fonctionnel de l'ensemble suspendu

Le travail réalisé en 2018 consistait à rédiger les premiers documents d'analyse du besoin, un cahier des charges, les documents d'étude de faisabilité et d'étude de conception. Un premier concept CAO a été réalisé pour la modélisation de solution du barillet et de la nacelle. Une étude de plusieurs solutions pour le système de largage a également été menée.

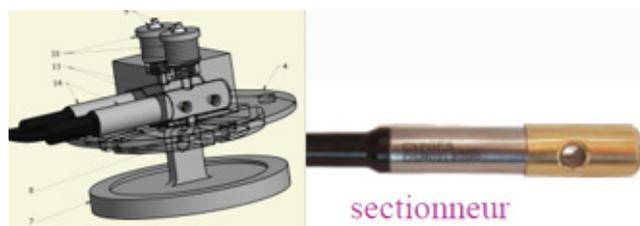


Figure 41 : Etude d'un largueur à sectionneurs

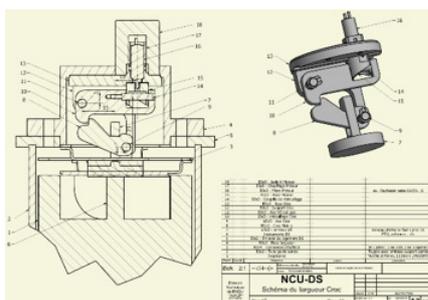


Figure 42 : Etude d'un largueur à croc motorisé

2.13.4. Perspectives

Le projet a été mis en suspens en 2018, en attente de précision du besoin et de planification des décisions : le travail réalisé est resté en l'état. Un document d'analyse de faisabilité proposant différentes solutions a été initialisé.

Selon le besoin scientifique, le système peut être adapté aux nacelles de type Zéphyr (développées pour les missions Stratéole-2).

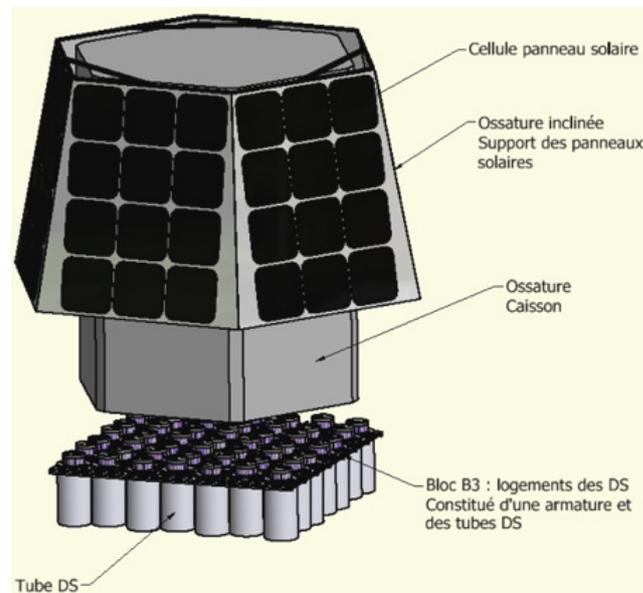


Figure 43 : Etude d'implantation du barillet des drop-sondes sous la nacelle Zéphyr

Personnel DT impliqué :

Nadir Amarouche, électronique et ingénierie système.

Alexandre Blin, bureau d'études mécaniques et ingénierie système.

Contact :

nadir.amarouche@cns.fr

alexandre.blin@cns.fr

2.14. EHR

Echantillonneur Haute Résolution

Laboratoire demandeur : UMR 7621 Université Paris VI, LOMIC Banyuls.

Chercheur : Stéphane Blain.

2.14.1. Objectifs scientifiques

Durant les 30 dernières années, des progrès considérables ont été réalisés pour l'analyse chimique in situ en milieu aquatique. Les capteurs passifs permettent des mesures in situ avec des fréquences très élevées. On les retrouve couramment déployés avec succès sur différents vecteurs (flotteurs profileurs, gliders, AUV, bouées instrumentées). Le nombre d'espèces chimiques accessibles à ce type de technologie est cependant très réduit et même s'il existe des résultats encourageants pour quelques nouvelles espèces, un développement généralisé à court ou moyen terme de ces capteurs passifs à un grand nombre d'espèces chimiques est peu probable.

En partant de ces constats et face au besoin scientifique de vouloir décrire à haute résolution spatiale et/ou temporelle l'environnement marin, il est possible de promouvoir une stratégie constituée d'un préleveur à haute résolution (une centaine d'échantillons sur des durées de quelques minutes) couplé ensuite à des analyses chimiques.

Le projet pour lequel le soutien de la DT-INSU est demandé est la réalisation d'un prototype de l'échantillonneur haute résolution. La mission scientifique de l'instrument serait de collecter dans les 300 premiers mètres de la colonne d'eau des échantillons à haute résolution spatiale (de l'ordre du mètre) dans un temps limité (5-15 minutes par exemple). 96 échantillons de petits volumes (2 ml) seront prélevés sur la colonne d'eau pour faire un profil haute résolution. Au final, ces échantillons seront répartis dans une plaquette standardisée (microtitreur) afin d'être couplés à des analyses chimiques robotisées haut débit en laboratoire (embarqué ou à terre). L'instrument sera autonome du point de vue de l'énergie (donc sans câble électroporteur).

2.14.2. Description technique

Le système est constitué d'un barillet en titane dont la rotation est assurée par un moteur. Le microcontrôleur interroge le capteur de pression et commande la prise d'échantillon lorsqu'un palier de pression est atteint. Le dispositif est constitué de :

- Un moteur réducteur GPL32S 288:1 Faulhaber accompagné de la carte de pilotage MCBL3006S. Vitesse programmable, position zéro absolu de référence en butée sur un switch. Consommation 108 mA/24 V à 1000 tr/min.
- Un capteur de pression AADI 4117B (0-400 m), résolution +/- 8 cm.
- Une carte de pilotage à base d'un microcontrôleur.

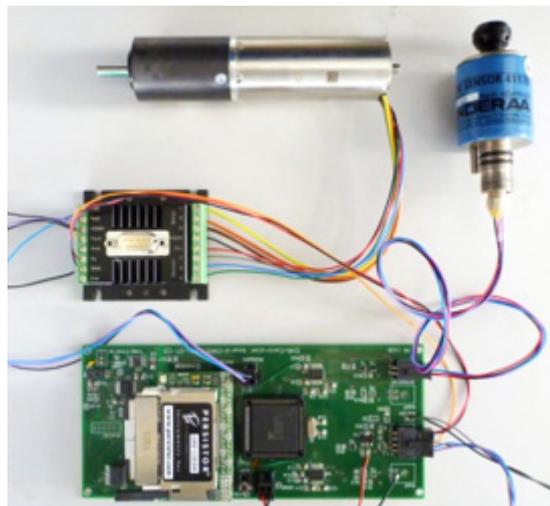


Figure 44 : Cartes de pilotage du moteur et du capteur de pression

La partie mécanique du prototype est constituée de :

- Un barillet en titane rodé (pour la qualité des états de surfaces) comprenant 22 puits de 400 μ l et un système de serrage contrôlé par un ressort.
- Un axe moteur dont l'étanchéité est assurée par un joint torique entre le caisson étanche et le barillet.
- Une butée pour la référence de position du 1er puits.
- Un caisson étanche.

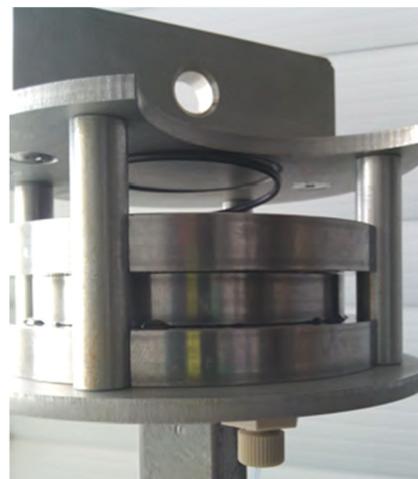


Figure 45 : Le barillet en titane

2.14.3. Activités

Le projet a été financé en 2016 à hauteur de 25 k€ pour construire le prototype. La DT Brest est responsable de la rédaction du cahier des charges, de la conception et de la réalisation de l'échantillonneur (mécanique, électronique, interfaces, programmation embarquée). Le LOMIC est responsable des tests pour la validation du concept et du prototype.

2.14.4. Perspectives

Le prototype est fonctionnel en laboratoire, le LOMIC doit poursuivre par des essais en mer.

Personnel DT impliqué :

Christine Drezen, Cédric Brachet, Michel Calzas.

Contact :

christine.drezen@cnrs.fr

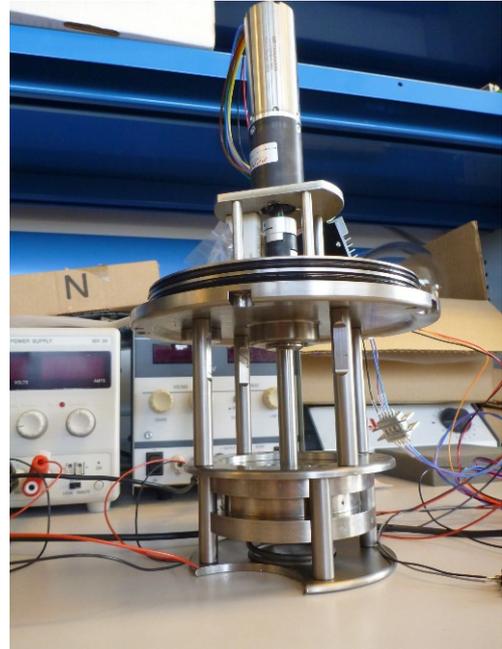


Figure 47 : Moteur, axe, et barillet



Figure 46 : Dessin de l'échantillonneur haute résolution

2.15. EMSO

European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory

Laboratoire demandeur : MIO.

Chercheur : Dominique Lefèvre.

2.15.1. 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 et EMSO, 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.

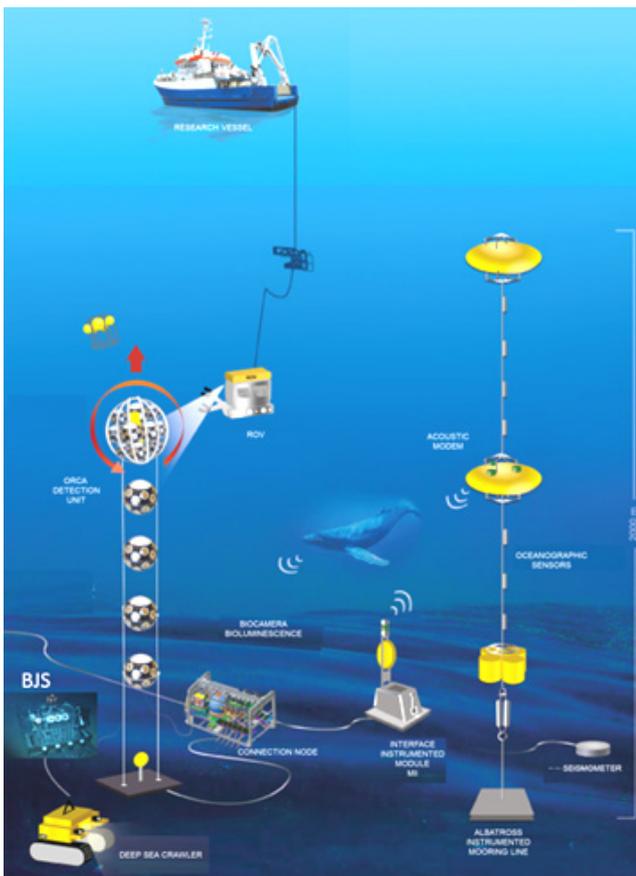


Figure 48 : Vue d'artiste de l'observatoire EMSO-KM3Net

2.15.2. 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 (Mediterranean Eurocentre for Underwater Sciences and Technologies). 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 en 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) d'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 dédiée à l'étude de la bioluminescence.
- Le Centre de Physique de Particules de Marseille qui souhaite installer sur ce site un capteur de radioactivité.

- Enfin 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.

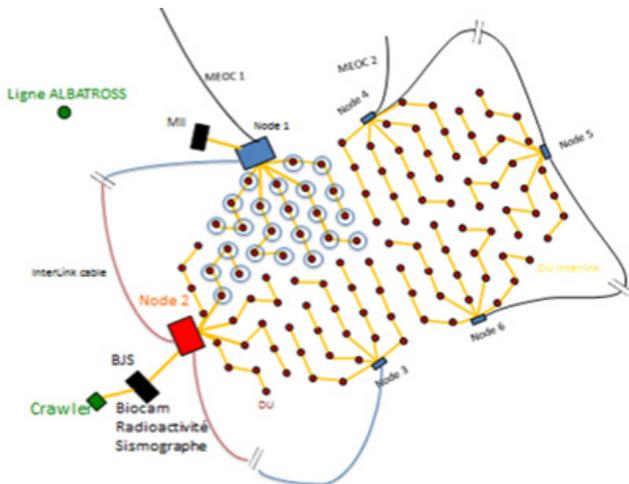


Figure 49 : Schéma d'implantation de l'observatoire EMSO-KM3Net

2.15.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

Phase 1 (MEUST)

Ligne de mouillage inductive :

- Définition et approvisionnement de la structure (câbles, flotteur, système de largage, balisage).
- Instrumentation : approvisionnement et mise en œuvre de capteurs océanographiques à communication inductive permettant de mesurer les paramètres de pression, température, conductivité, courantométrie et oxygène dissous.
- Réalisation d'un système d'interfaçage pour capteur non inductif (turbidité, fluorimétrie).
- Etude et réalisation d'un module de gestion pour la lecture inductive, le stockage et la transmission acoustique des données.
- Documentation technique (dossier de fabrication, documents de suivi opérationnel, etc).
- Déploiement et mise en œuvre opérationnelle.

Outillages de mise en œuvre de la ligne :

Le déploiement d'une ligne inductive nécessite la mise en œuvre d'outils dédiés. La communication

inductive est basée sur l'intégrité physique de la protection isolante de l'âme du câble entre 2 nœuds instrumentés. Au même titre, le gréement des instruments sur le câble doit se faire de manière sécurisée au cours du déploiement ou de la récupération de la ligne. Pour ces raisons de « fragilité » et de sécurité des instruments et des personnels, des outils dédiés à ces procédures ont été conçus et développés. La technologie inductive étant amenée à se développer au cours de ces prochaines années, l'investissement entrepris par la DT-INSU sera profitable à toute la communauté scientifique.

- Etude et réalisation des outillages (treuil hydraulique, davier et poulie de renvoi avec système de comptage).
- Essai et validation.
- Documentation technique (dossiers de fabrication).
- Déploiement et mise en œuvre opérationnelle.



Figure 50 : Vue d'ensemble des outillages de déploiement MEUST

Depuis l'été 2015, la ligne ALBATROSS est en exploitation au large de Toulon sur le site EMSO-KM3Net. Des opérations annuelles de maintenance et de jouvence sont réalisées à partir du NO Téthys II par le personnel de la DT-INSU et du laboratoire MIO.

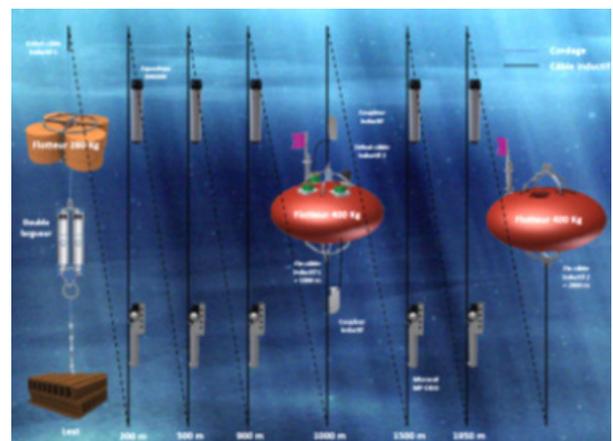


Figure 51 : Schéma synoptique de la ligne inductive ALBATROSS

Module Interface Instrumenté (MII) :

- Etude et réalisation des parties mécanique et électronique du système (jonction sous-marine, module énergie, transmission de données sur fibre optique).
- Intégration de capteurs (pression absolue, courantométrie, oxygène dissous, turbidité et CTD).
- Intégration du système de transmission de données par acoustique pour la ligne distante.
- Documentation technique (dossier de fabrication).
- Déploiement et mise en œuvre opérationnelle.

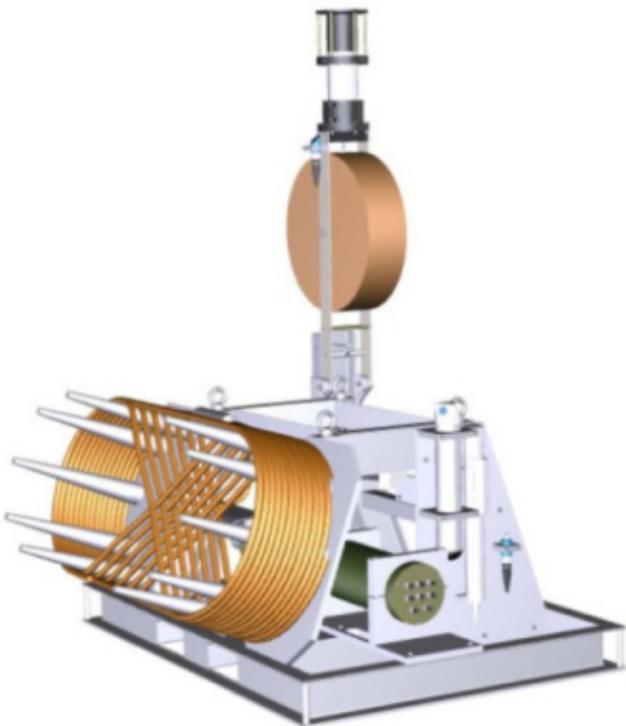


Figure 52 : Vue 3D du MII V2

Après plusieurs contretemps techniques liés à l'infrastructure sous-marine (défauts dans le câble électro-optique), le MII V2 a été déployé au printemps 2019. Depuis son installation, les données de la ligne ALBATROSS sont transmises automatiquement aux serveurs de la station terre à l'aide de la liaison acoustique. Ce transfert de données quotidien permet d'alimenter les bases de données océanographiques.

Phase 2 (NUMerEnv)

Boîte de Jonction Scientifique (BJS) :

- Etude et réalisation de la transmission de données sur fibre optique (liaison Giga Link CWDM).
- Définition, test et qualification des liaisons sous-marines des utilisateurs de la BJS.
- Intégration et test avec l'équipe technique d'Ifremer.
- Déploiement et mise en œuvre opérationnelle.

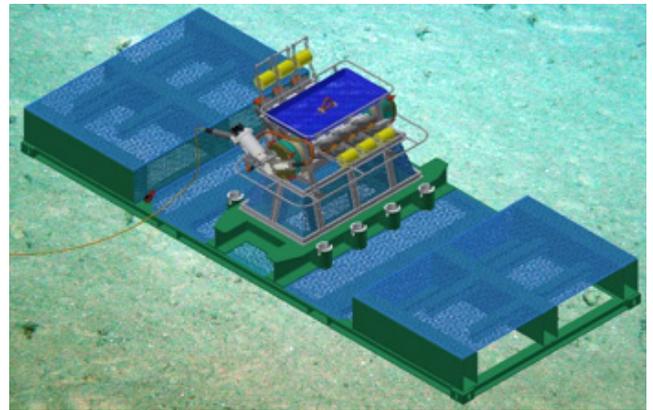


Figure 53 : Vue 3D de la BJS (crédit Ifremer)

Radiomètre et caméra haute sensibilité (BioCam) :

- Etude et réalisation des structures mécaniques sous-marines.
- Interfaçage des équipements avec la BJS (jonction sous-marine, compatibilité électromagnétique, Ethernet 100baseT).
- Intégration et test des instruments.
- Déploiement et mise en œuvre opérationnelle.



Figure 54 : Radiomètre et BioCam

Robot benthique (BathyBot) :

- Evaluation du besoin et rédaction du cahier des charges.
- Procédure d'achat.
- Recette et mise en œuvre de l'équipement.
- Etude et réalisation de la structure mécanique sous-marine (dock de déploiement instrumenté).

- Interfaçage des équipements avec la BJS (jonction sous-marine, compatibilité électromagnétique, Ethernet 1000BaseT).
- Intégration et test des instruments.
- Déploiement et mise en œuvre opérationnelle.

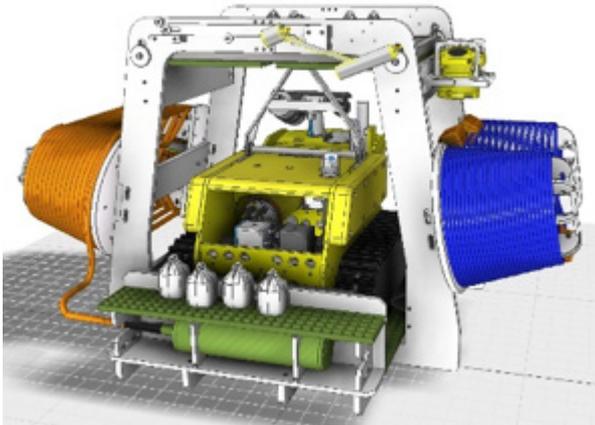


Figure 55 : BathyBot et son dock de déploiement instrumenté

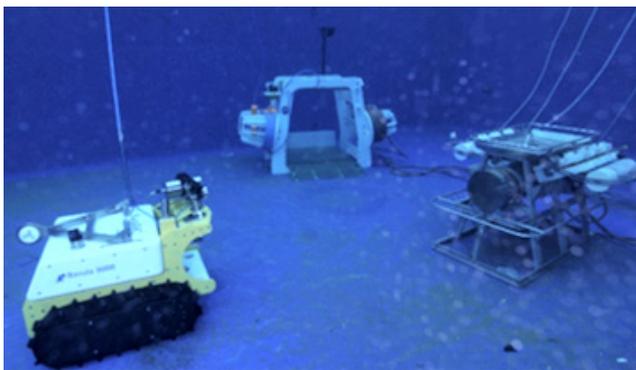


Figure 56 : Essais en bassin de BathyBot avec son dock et la BJS

Système On Shore :

- Création d'une infrastructure réseau et mise en production de serveurs (virtualisation, VLAN, stockage, ...).
- Contrôle commande pour la lecture des données (machine virtuelle dédiée).
- Système de transmission de données sur fibre optique et interfaçage avec l'infrastructure réseau existante (IMP, MII V2 et BJS).
- Mise à disposition des données brutes sur le serveur sciences environnementales de l'IMP.

Opération de déploiement (campagne EMSO LO 2020) :

La campagne de déploiement de la partie NUMerEnv a lieu du 4 au 18 mai 2020. Elle est effectuée à partir

du NO « Pourquoi pas ? » avec le Nautille comme engin d'intervention sur le fond.

2.15.4. Perspectives

Une mise à niveau de l'engin BathyBot est déjà programmée pour l'année 2022. Des micro-profileurs benthiques pour la mesure de l'oxygène seront intégrés sur le robot (LSCE + DT-INSU Meudon).

L'observatoire EMSO-KM3Net est une infrastructure ouverte à la communauté scientifique, des demandes de soutien pour l'ajout de nouveaux instruments devraient être déposées dans les années futures.

Publications ou posters :

Claude Vallée and AI, « The MEUST deep sea cabled observatory », MTS/IEEE OCEANS 2015 - Genova: Discovering Sustainable Ocean Energy for a New World (2015).

Pierre Léon and AI, « A new open cabled infrastructure in medsea », OCEANS 2011 IEEE - Spain (2011).

Personnel DT impliqué :

Carl Gojak, Karim Bernardet, Zouhir Hafidi, Céline Laus, Karim Mahiouz, Jean-François Roques, Lionel Scouarnec.

Contact :

carl.gojak@cnr.fr

2.16. FLUX

Thématique INSU : Océan-Atmosphère.

2.16.1. Objectifs scientifiques

Dans l'étude des interactions entre la surface de la mer et l'atmosphère, la mesure des flux turbulents à la surface de la mer est un thème prioritaire de recherche. L'étude des flux turbulents passe par l'enregistrement de données au cours de campagnes océanographiques sous conditions climatiques et météorologiques variées, à l'aide d'un système instrumental monté sur les navires de campagne tels que ceux de l'Ifremer.

2.16.2. Description technique

Le personnel de la Division Technique a participé à la définition et au développement d'une plate-forme de mesure de flux turbulents à la surface de la mer, en concertation avec le LATMOS et le CNRM. Il s'agit d'une potence instrumentée regroupant un anémomètre sonique, un réfractomètre, une centrale inertielle et différents capteurs.

Les mesures issues de l'anémomètre sonique (composantes du vent et température), du réfractomètre (humidité) et de la centrale inertielle pour les mouvements du navire sont acquises à un rythme élevé (50 Hz). Des capteurs classiques fournissent des données de référence absolue pour la pression, la température et l'humidité, la mesure de rayonnement descendant et de température de surface.

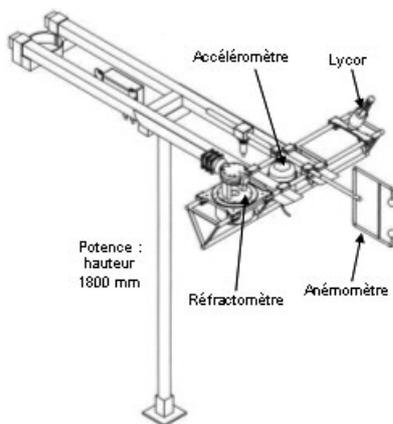


Figure 57 : Potence instrumentée des capteurs rapides de mesure de flux (montage sur l'Atalante)

La Division Technique a en charge la mise en œuvre, la maintenance et le développement de cet instrument. De plus, elle participe à la conception des interfaces mécaniques et des outillages nécessaires à l'intégration de l'instrument sur les navires. La définition de l'implantation mécanique des capteurs sur les navires est assujettie à plusieurs contraintes : scientifique, en fonction des écoulements d'air qui

doivent être perturbés le moins possible, et technique, en fonction des possibilités offertes sur les navires (mâtures existantes, droits d'accès à ces infrastructures).

2.16.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

L'instrument a été utilisé intensivement sur la période 2011 à 2014. Il a malheureusement présenté des signes de fatigues suite à la dernière campagne de 2014, les données acquises étaient de moins en moins fiables. L'instrument a été mis en veille pendant quelques années avant de reprendre du service pour le besoin de la campagne EUREC4A en janvier/février 2020, à bord de l'Atalante, au large de la Barbade.

Pour le besoin de cette campagne, une remise en état de l'instrument FLUX a été nécessaire, et les 3 derniers mois de l'année 2019 ont permis de le remettre en fonctionnement. Pour cela, un capteur d'humidité de type LiCOR a été acheté afin de collecter des données d'humidité fiables (et remplacer les données issues du réfractomètre qui ne fonctionne plus correctement). Une mise à jour mécanique et électronique a été faite.



Figure 58 : Potence de mesure de flux installée à la proue

2.16.4. Perspectives

Ces travaux de remise en état ne sont qu'une première étape dans la jouvence de l'instrument. Un travail de modernisation de l'électronique est encore nécessaire afin d'alléger le système, le fiabiliser et simplifier encore un peu plus son déploiement sur les navires de recherche.

Personnel DT impliqué :

Nicolas Geyskens, responsable projet.

Aurélien Cléménçon, mécanique.

Hervé Barrois, instrumentation.

Contact :

nicolas.geyskens@cnr.fr

2.17. FOAM

Laboratoire demandeur : Obs. de Paris-Syrte.

PI : Pascal Bonnefond.

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

2.17.1. 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 (From Ocean to inland waters Altimetry Monitoring) (demande CNES), 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 SARAL/AltiKa.

2.17.2. Description technique

Les équipements suivants ont été développés :

Bouée GNSS statique :

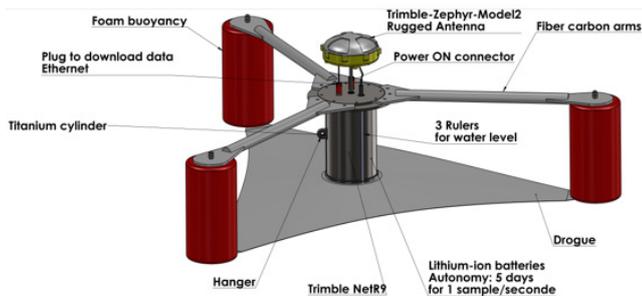


Figure 59 : Schéma de la bouée statique

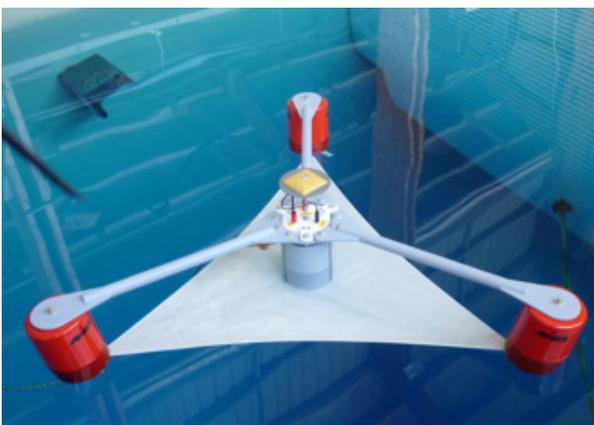


Figure 60 : Photo de la bouée en test en piscine

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.

Bouée GNSS tractée CalNaGEO :

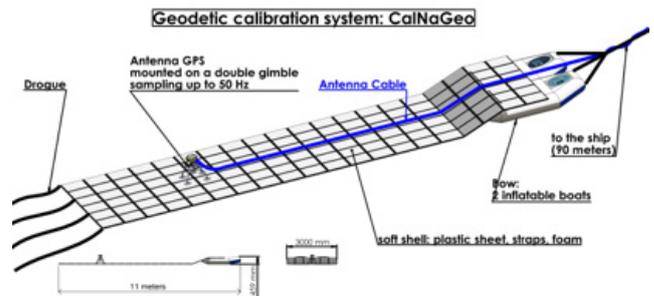


Figure 61 : Schéma de la nappe CalNaGEO version côtière

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 m, vent jusqu'à 40 nœuds ; pour les fleuves, forts courants, faibles profondeurs. Une précision centimétrique et une autonomie d'au moins 5 jours étaient demandées, un système léger, robuste, démontable. 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.

Marégraphes :

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

2.17.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

Bouée GNSS statique : îles Karavatti (Inde), îles Kerguelen, Antarctique (base Dumont-d'Urville), île d'Aix, lac Issykul (Kirghizstan).

Bouée tractée CalNaGEO : en mer d'Iroise, golfe du Bengale, îles Kerguelen, et sur la Seine, la Gironde, le Maroni.

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



Figure 62 : Mesure sur le Maroni (07/2019)



Figure 63 : Mesure en mer d'Iroise



Figure 65 : Mise à l'eau du Marion Dufresne

Posters :

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

Autres :

Brevet CalNaGEO n°FR15/0180.

Contact :

michel.calzas@cnsr.fr

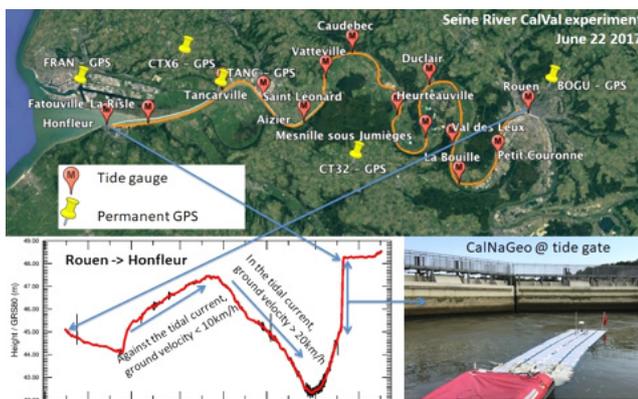


Figure 64 : Mesures sur la Seine, différence de 25 mm entre l'aller et le retour (110 km)

2.17.4. Perspectives

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

Personnel DT impliqué :

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

2.18. GFMT

Glider Fleet Mission Tool

Laboratoire demandeur : LOCEAN.

Chercheur : Pierre Testor.

2.18.1. Objectifs scientifiques

La demande concernait l'infrastructure informatique utilisée pour le parc national de planeurs sous-marins, et en particulier :

- Sa consolidation.
- Son évolution à partir des besoins définis dans le cadre du projet européen GROOM (design study, fin du projet en 2014).
- Son utilisation au sein du réseau international EGO (Everyone's Gliding Observatories) (www.ego-network.org).

Plus précisément, ils demandaient donc :

- Un site de pilotage fournissant un service en ligne (pilotage, maintenance, traitement des données et diffusion vers des centres de données), opérationnel 7j/7, ouvert à toute la communauté utilisatrice de planeurs sous-marins.
- La jouvence du site web EGO.
- La fourniture de documentations et de services pour le développement (serveurs, gestion des versions de code, ...).

2.18.2. Description technique

Un site de pilotage, hébergé à la DT, existait déjà mais il manquait des fonctionnalités (par exemple la gestion de la maintenance des engins). Cette application web en PHP n'a pas été développée à l'origine à la DT mais la DT l'a faite évoluer.

Le site EGO était aussi hébergé à la DT sur une machine virtuelle (VM) dédiée et isolée de celles utilisées par l'équipe du parc. Pour des raisons de continuité de service, toutes les VMs concernant les planeurs ont été migrées en 2015-2016 vers le Cloud sécurisé du CNRS, y compris la VM hébergeant le site EGO. En 2017, la DT a passé la VM du site EGO sur le système CentOS 7, ce qui a impliqué beaucoup de mises à jour sur le site.

De plus, un prototype de site de pilotage fournissant les services demandés à toute la communauté glider a commencé à être développé, mais faute de ressources il a été stoppé. Les principales technologies utilisées étaient le langage Python, le framework Django, le système de gestion de bases de

données MySQL et Cassandra (NoSQL) pour les données.

2.18.3. Activités

2015 – 2016 :

Migration des machines virtuelles utilisées pour le parc national des planeurs de la DT vers le Cloud sécurisé de la DSI du CNRS, et passage de CentOS 5 vers CentOS 7.

2016 :

Migration de la machine virtuelle du site EGO vers le Cloud sécurisé du CNRS.

2017 :

Passage du site EGO en CentOS 7.

Développement d'un prototype d'un nouveau site de pilotage.

Personnel DT impliqué :

Karim Bernardet.

Elodie Godinho.

Contact :

karim.bernardet@cnrs.fr

2.19. GMI

Gestion de la Maintenance des Instruments

Laboratoire demandeur : MIO.

Chercheur : Christian Grenz.

2.19.1. Objectifs scientifiques

Il s'agit 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.

2.19.2. Description technique

L'application de gestion de la maintenance des gliders avait été développée en PHP sur une base de données MySQL. Pour pouvoir gérer l'aspect de groupe (différentes plates-formes au sein d'un labo) sans mêler complètement les données des différentes plates-formes, PostgreSQL a été choisi en raison de la notion de schéma qui existe dans ce SGBD.

De plus, pour permettre plus de modularité et faciliter le maintien de l'application dans l'avenir, le framework Vue.js a été choisi.

L'outil est composé de cinq modules principaux :

Équipement :

- Liste de tous les équipements de la plateforme.
- Ajout d'équipement.
- Modification d'équipement.
- Suppression d'un équipement.
- Fiche de vie de l'équipement.

Maintenance :

- Affichage de l'historique des opérations/installations.
- Ajout / modification / suppression d'opérations/installations.
- Définition d'alarmes.
- Gestion du planning de maintenance.
- Modification du statut des équipements (en panne, en mer...).

Documents :

- Visualisation et téléchargement de documents.
- Ajout / suppression de documents.

Plateforme :

- Gestion des agents.
- Gestion du logo de la plateforme.
- Définition des :
 - Lieux de stockage.
 - Types d'équipement.

- Sous-types d'équipement.
 - Modèles d'équipement.
 - Types d'opération.
 - Statuts.
 - Types de document pour une plateforme.
 - Règles de composition des équipements.
- Configuration du reporting de plateforme.

Groupement de plateforme :

- Gestion des responsables de plateforme.
- Gestion des types de documents communs.
- Configuration du reporting.
- Gestion du logo du groupement de plateformes.

2.19.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

Mise en production de la première version prévue en juin 2020.

2.19.4. Perspectives

Le but final est d'en faire une application générique et centralisée qui pourra accueillir plusieurs plateformes de laboratoires différents (dont celles de la DT : gliders, instrumentation des navires, et d'éventuelles autres à venir).

Personnel DT impliqué :

Quentin Conil (apprenti ingénieur 2017-2020).

Elodie Godinho.

Karim Bernardet.

Contact :

elodie.godinho@cns.fr

karim.bernardet@cns.fr

2.20. Guide d'ions

Laboratoire demandeur : LISA.

Chercheur responsable : Hervé Cottin.

2.20.1. Objectifs scientifiques

Dans le cadre de l'exploration du système solaire et de l'étude de ses origines, le LISA, le LPC2E, le LATMOS et l'IPAG développent ILMA (Ion Laser Mass Analyser), un spectromètre de masse à très haute résolution pouvant fonctionner en mode LD-MS (Laser Diode / Mass Spectrometer). Une des cibles d'utilisation est l'étude de surface de petits corps embarqué sur micro-lander. Ce type de lander ne possède pas de mécanisme d'extraction et d'approche de l'échantillon ; c'est pourquoi on doit développer un guide d'ions permettant au spectromètre de masse d'analyser la surface de l'astéroïde situé au plus bas à 10 cm du plancher du rover. L'objectif final étant de coupler ce guide d'ions au prototype de spectromètre de masse Orbitrap.

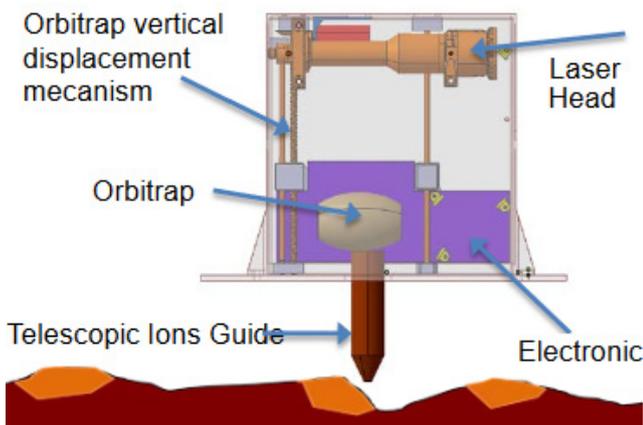


Figure 66 : Vue schématique de ILMA avec le guide d'ions en contact avec la surface à analyser

2.20.2. Description technique

Les mécanismes de déploiement du guide d'ions doivent être conçus pour fonctionner en microgravité dans un vide poussé (surface d'astéroïde) et exposés à des températures très basses (-100°C typiquement) ainsi qu'à des gradients thermiques importants entre l'entrée du guide et la partie à proximité de l'Orbitrap (entrée à l'extérieur du rover exposée aux -100°C et l'Orbitrap à l'intérieur du rover proche de -10°C). Le déploiement doit être réversible et pouvoir fonctionner une dizaine de fois.

Afin que le guide d'ions puisse fonctionner, il faut que la grille d'entrée soit en contact direct avec la surface d'où provient le plasma. La position de cette surface étant a priori inconnue, il faut prévoir un mécanisme permettant de déterminer l'entrée en contact de la grille avec la surface.

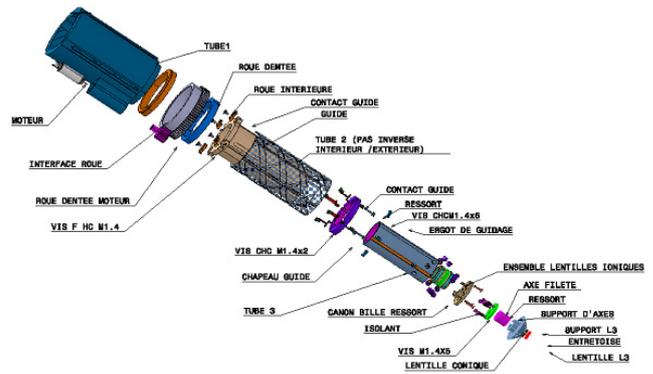


Figure 67 : Vue éclatée du guide d'ions

2.20.3. Activités de la DT

Les objectifs déjà atteints en 2014 sont :

- La simulation du guidage des ions afin de déterminer les hautes tensions nécessaires pour focaliser les ions et les longueurs de déploiement acceptables.
- La réalisation d'un prototype pour valider le mécanisme de déploiement.



Figure 68 : De haut en bas, guide d'ions déployé, guide d'ions rentré, guide d'ions motorisé

Depuis 2015 :

- L'étude du cheminement des ions avec un support de lentilles ioniques et des plaques métalliques pour une déviation en S a été réalisée.
- La stabilisation de la sortie du tube 3 par des guides de contact améliorés (transmission de la haute tension du tube 2 vers le tube 3) a été réalisée, permettant par effet ressort le maintien de l'alignement.

- L'étude d'un GSE (Ground Support Equipment) a été menée pour pouvoir opérer le guide d'ions sous vide avec une fenêtre permettant d'injecter le faisceau laser depuis l'extérieur vers le guide d'ions et ainsi de générer le plasma et les ions.

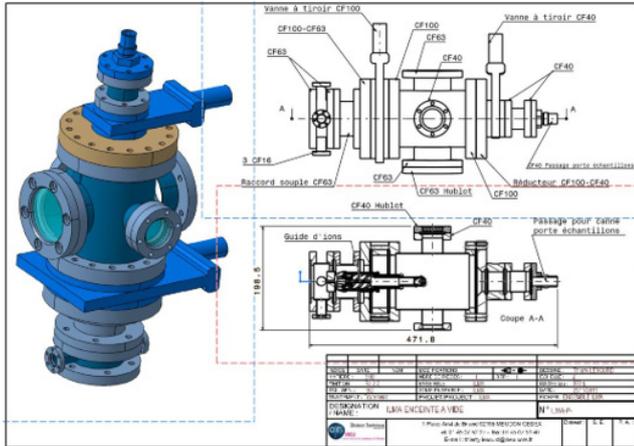


Figure 69 : Enceinte à vide

2.20.4. Perspectives

L'arrêt du projet a été décidée début 2018. L'étude est quasiment terminée, il reste à réaliser le suivi de fabrication, et la remise des plans et des fichiers au LISA. Ces tâches concernent la fabrication des pièces en PEEK, le dépôt d'or pour les pistes qui supporte la haute tension, la fabrication du GSE et les tests sous vide et zéro gravité.

Personnel DT impliqué :

Thierry Lesourd.

Benoit Lemaire.

Contact :

thierry.lesourd@cnsr.fr

benoit.lemaire@cnsr.fr

2.21. HYDROCTOPUS

Laboratoire demandeur : IPGP.

Chercheur : Romuald Daniel.

2.21.1. Objectifs scientifiques

Il s'agit d'upgrader les performances de la station HYDROCTOPUS, qui est une station sous-marine posée en fond de mer et qui mesure l'activité sismique à l'aide d'hydrophones et de géophones. L'objectif est de créer un nouveau datalogger permettant de faire passer les acquisitions de 250 échantillons par seconde pendant un an sur 4 voies à 1000 échantillons par seconde pendant un an sur 4 voies.

2.21.2. Description technique

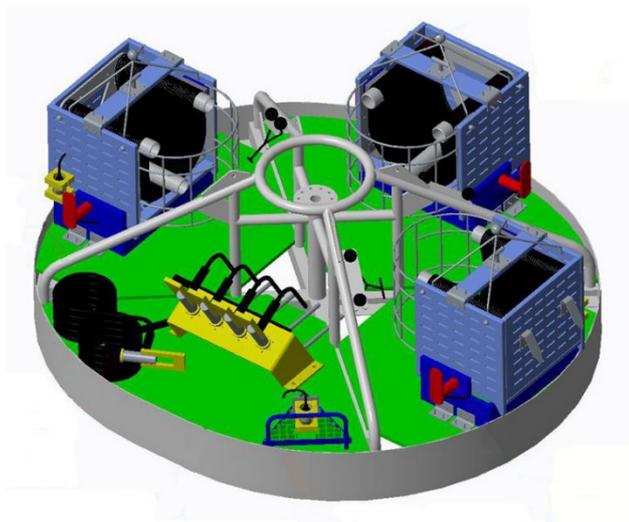


Figure 70 : La station HYDROCTOPUS

Le projet a débuté au dernier trimestre 2018 par l'étude de l'existant.

Les scientifiques porteurs de ce projet ont fait le souhait de créer un nouveau système d'acquisition qui puisse être facilement évolutif. Ils ont donc voulu des formats de cartes et de connectiques compatibles avec des cartes Arduino MEGA 2560 et Raspberry Pi3.

Un long travail d'échanges et de rédaction d'un cahier des charges complet a été fait. La suite a été un travail de refonte des cartes électroniques existantes pour les porter sur le nouveau format choisi. La DT a travaillé et travaille encore sur le développement de cartes ADCs, cartes TIMER et cartes microcontrôleurs afin de répondre au cahier des charges rédigé en début de projet.

2.21.3. Campagnes, déploiement ou expériences

Il n'y a pas de campagnes prévues dans ce projet, mais uniquement du développement et des tests dans nos labos.

2.21.4. Perspectives

L'évolution va être de terminer les développements hardware et software pour réaliser l'intégration complète du nouveau datalogger en vue d'une utilisation en 2021.

Personnel DT impliqué :

Hervé Barrois, ingénieur en instrumentation.

Contacts :

herve.barrois@cnsr.fr

rdaniel@ipgp.fr

2.22. HYMENET

Laboratoire demandeur : IPGP.

Chercheurs : J-P Frangi, X Chavanne.

2.22.1. 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.

2.22.2. Description technique

La demande porte sur la réalisation d'une carte de contrôle et communication qui doit 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 par canal radio des mesures.

La communication radio se fera suivant le protocole LoRaWAN.

Personnel DT impliqué :

Guillerm Christophe.

Contact :

christophe.guillerm@cnr.fr

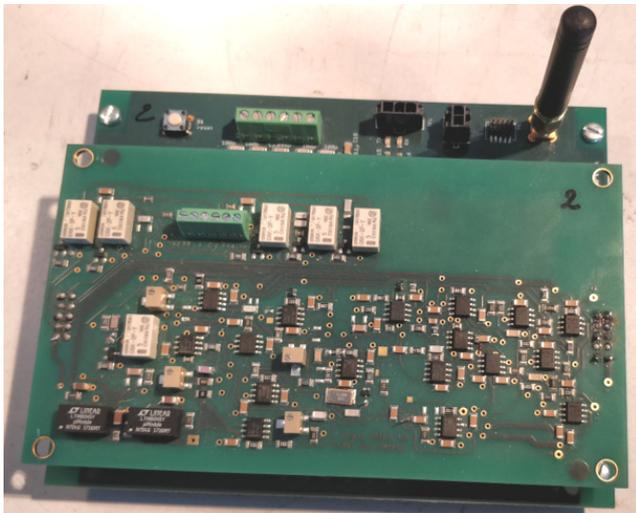


Figure 71 : Carte proto et carte de mesure de conductivité

2.22.3. Activités

Les tests de validation du prototype sont en cours sur le site de Dignes les Bains et sur le toit du laboratoire porteur du projet.

2.22.4. Perspectives

Il est envisagé une demande d'étude sur un nouveau capteur ne mesurant que la température du sol sur 5 points de mesures.

2.23. IAOOS

Laboratoires demandeurs : UPMC (LOCEAN, LATMOS).

Chercheurs : Christine Provost et Jacques Pelon.

Partenaires : INSU-CNRS, IPF, ICARE, PIT (UVSQ).

Industriels : NKE, CIMEL, SAMS, MOBILIS.

2.23.1. Objectifs scientifiques

Le projet Ice Atmosphere, Arctic Ocean Observing System (IAOOS) a comme objectif de surveiller le changement climatique en Arctique. Il consiste à déployer et à maintenir un système d'observation à travers l'océan arctique pour collecter simultanément et en temps réel l'information relative à l'état des couches supérieures de l'océan, de la basse atmosphère et de la glace de mer. Ce système d'observation est un ensemble de plates-formes regroupant chacune des capteurs qui mesurent :

- Dans l'océan : la pression, la température, la salinité, l'oxygène dissous grâce à un profileur.
- Dans la glace et la neige : la température et l'épaisseur par une chaîne de-thermistances.
- Dans l'atmosphère : la nébulosité et les aérosols par un micro-lidar, et l'épaisseur optique de l'atmosphère par un ODS (Optical Depth Sensor).

Le budget total alloué au projet est de 5,1 M€ sur 7 ans (2012-2019) sur un appel à projets « Equipements d'excellence » du programme « Investissements d'avenir » du gouvernement français (n°ANR-10-EQPX-32-01).

25 plates-formes ont été développées et chaque printemps/été 2 bouées sont déployées sur le site de Barnéo (camp saisonnier russe près du pôle), ou depuis l'Aaron (brise-glace coréen côté détroit de Béring).

2.23.2. Description technique

La DT a eu la responsabilité des tâches suivantes :

- La partie atmosphère (micro-lidar en partenariat avec la société CIMEL, cerveau atmosphère, chauffage hublot).
- Le cerveau central (gestion de l'ensemble de la plateforme, GPS, transmission Iridium).
- La conception mécanique et thermique pour un environnement extrême.
- L'intégration de tous les capteurs sur une bouée prototype et les essais.
- Le dimensionnement de l'énergie.

La DT a également eu la responsabilité de l'industrialisation de la plate-forme pour sa duplication (marchés et PUMA).

2.23.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

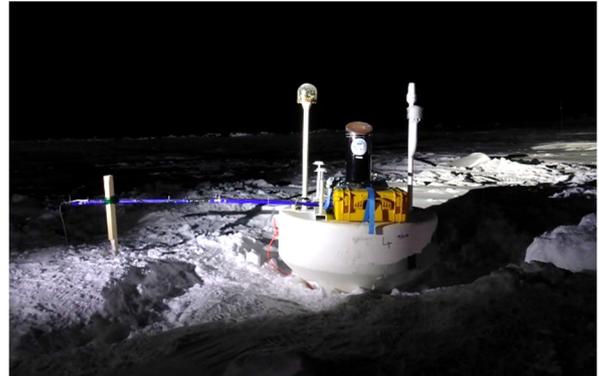


Figure 72 : Bouée IAOOS déployée sur la banquise

N-ICE 2015 :

Dérive du navire polaire norvégien RV LANCE (de janvier à juin), 2 bouées déployées sur la banquise, 1 testing hole pour essai d'un profileur océan avec capteurs bio-optiques.



Figure 73 : Bouée IAOOS dans un trou sur la banquise

POLARSTERN 2015 :

3 bouées déployées depuis le brise-glace allemand Polarstern (septembre).

AARON-16 :

2 bouées déployées depuis le brise-glace coréen Aaron côté détroit de Béring (août).

BARNEO-17 :

2 bouées déployées sur la banquise depuis le camp russe de Barneo près du pôle Nord (avril).

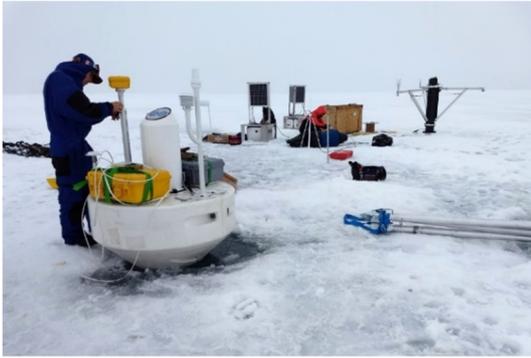


Figure 74 : Déploiement de IAOOS lors de AARON-17

AARON-17 :

2 bouées déployées depuis le brise-glace coréen Aaron côté détroit de Béring (août).



Figure 75 : Déploiement de IAOOS sur la banquise

BARNEO-18 :

2 bouées déployées sur la banquise depuis le camp russe de Barneo près du pôle Nord (avril).

AARON-19 :

2 bouées déployées depuis le brise-glace coréen Aaron côté détroit de Béring.

2.23.4. Perspectives

Il reste encore 5 bouées à déployer.

Personnel DT impliqué :

Abdelkader Abchiche, Nadir Amarouche, Oualid Aouji, Christophe Berthod, Frédéric Blouzon, Cédric Brachet, Michel Calzas, Aurélien Cléménçon, Christine Drezen, Lionel Fichen, Fabien Frérot, Nicolas Geyskens, Christophe Guillerm, Antoine Guillot, Benoît Lemaire, Vanessa Martray, Jean-Christophe Samaké, Joseph Spatazza.

Contact :

michel.calzas@cns.fr

nicolas.geyskens@cns.fr

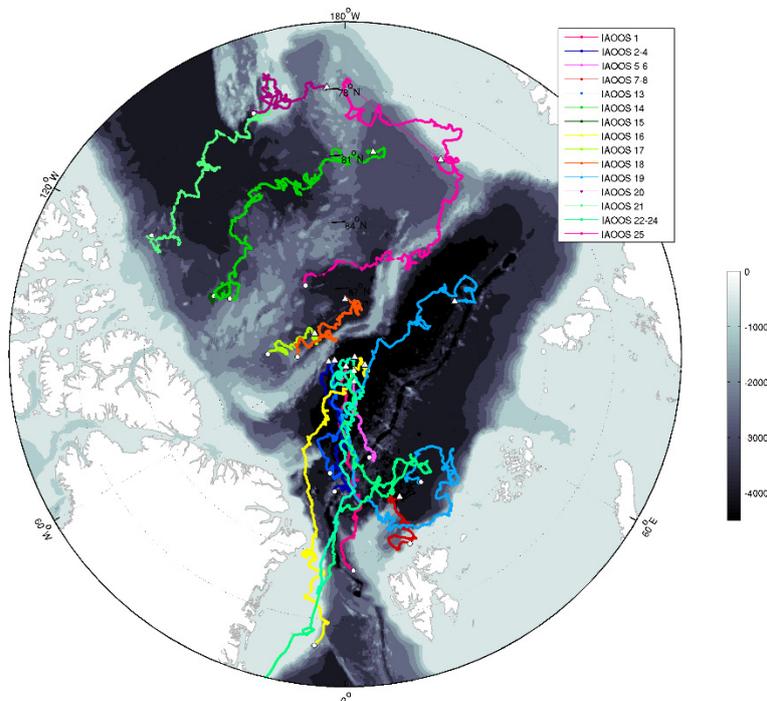


Figure 76 : Dérive sur la banquise des bouées IAOOS déployées annuellement dans le bassin arctique entre 2014 et 2019 (typiquement 2 bouées par an). La durée de vie d'une bouée s'étend de quelques mois à 2 ans.

2.24. IGSN

Laboratoire demandeur : Direction de l'INSU.

Demandeur : Nicolas Arnaud (Directeur INSU).

2.24.1. 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 noms de premier niveau et affecter des sous-espaces de noms 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.

2.24.2. Description technique

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

Les technologies utilisées sont :

- Spring : framework Java.
- Maven : outil de gestion et d'automatisation de production des projets logiciels Java en général.
- Angular : framework Javascript.
- Bootstrap : collection d'outils utiles à la création du design de sites et d'applications web.
- PostgreSQL : système de gestion de base de données relationnelle et objet.

La DT utilisait déjà l'Allocating Agent SESAR (<http://www.geosamples.org>) pour attribuer des IGSNs à la Cyber Carothèque Nationale. Le vocabulaire utilisé par le CSIRO étant différent, il a donc fallu adapter le code pour qu'il soit conforme au vocabulaire de SESAR.

2.24.3. Perspectives

Mise en production en 2020.

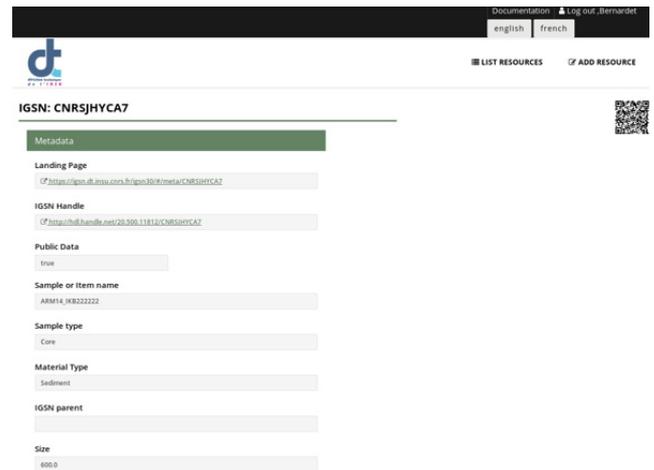


Figure 77 : Interface du service IGSN

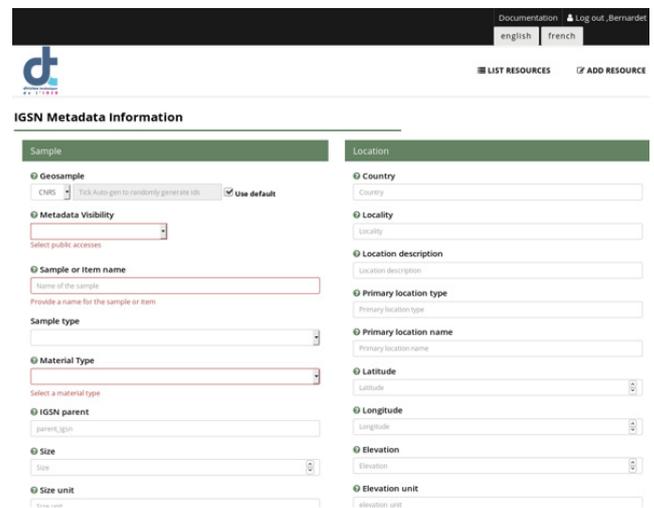


Figure 78 : Collecte des métadonnées

Personnel DT impliqué :

Karim Bernardet.

Elodie Godinho.

Contact :

karim.bernardet@cnsr.fr

2.25. IODA6000

In situ Oxygen Dynamic Auto-sampler

Laboratoire demandeur : MIO.

Chercheur : Dominique Lefèvre.

2.25.1. Objectifs scientifiques

Le rôle des océans et de la pompe biologique dans la régulation du CO₂, en relation avec le réchauffement global, est maintenant reconnu (IPCC 2007). Ce changement climatique devrait induire des évolutions dans le régime hydrologique (stratification des eaux de surface), avec diminution des phénomènes de « cascading » ou de convection (Bopp et al. 2002), processus pourtant déterminants dans la ventilation des eaux profondes. Certains événements extraordinaires ont déjà été observés en Méditerranée (Schröder et al., 2006, Font et al. 2007, Fuda et al. 2007, Canals et al. 2006, Bourin et al. 2008, Schröder et al., 2012). L'étude de l'évolution de la concentration en oxygène in situ et de sa dynamique associée est un des éléments clés indicateurs de l'évolution de l'écosystème (Keeling and Garcia, 2002). Les flux de production en surface sont aussi déterminés par la profondeur de la couche de mélange et de sa température associée. Près de 50% de la production de surface (représentative du fonctionnement de la pompe biologique) est exportée dans les zones plus profondes (Ducklow & Carlson, 1992) sous forme de matériel organique dissous et particulaire constituant les principaux vecteurs d'exportation de carbone et d'énergie dans les eaux intermédiaire et profonde jusqu'au sédiment. L'intensité de ces flux d'export et la qualité du matériel organique exporté (dissous ou particulaire) va conditionner l'activité des micro-organismes marins dans l'océan profond et impactera la concentration en oxygène dissous. Les mesures d'activité biologique vis-à-vis de l'oxygène (photosynthèse et re-minéralisation) sont appréhendées par des méthodes classiques d'incubation et la détermination par titrage chimique de l'oxygène dissous en flaconnage dans la zone épipelagique. En profondeur, seuls des proxys permettent d'estimer les vitesses de re-minéralisation (activité ETS, isotopes stables, flux d'export estimé à partir de pièges à particules...).

Dans le cadre de divers projets (ANR POTES, programme européen FP7 EuroSITES, APO, OPERA (INSU), AAMIS (Université de la Méditerranée)), des systèmes de mesure in situ de la re-minéralisation de la matière organique (MO) dans les zone épi, méso et bathypélagique ont été développés dans le cadre d'une collaboration étroite avec le Centre de

Physique des Particules de Marseille : In situ Oxygen Dynamic Auto-sampler (IODA6000). Cet équipement unique est innovant pour le développement technologique (mécanique, électronique et alimentation) sous pression (6000 m de profondeur).

2.25.2. Description technique

Le 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 de l'O₂ sensible à de faibles variations de concentration.

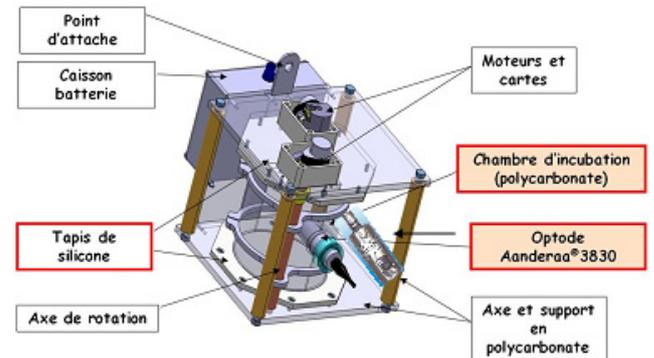


Figure 79 : IODA6000 version originale

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. Cet instrument peut descendre jusqu'à 6000 m de profondeur.

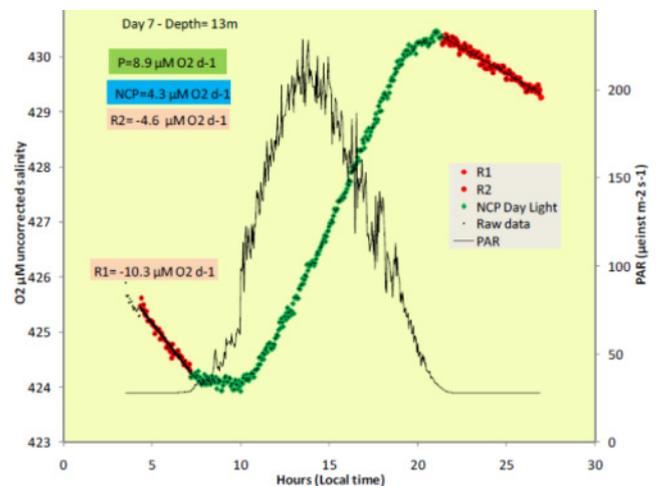


Figure 80 : Résultats obtenus lors du déploiement d'un IODA (campagne KEOPS 2)

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).

2.25.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

- Participation à la campagne AMOP pour la prise en charge des IODAs d'ancienne génération.



Figure 81 : Déploiement d'un IODA lors de la campagne AMOP (2014)

- Evaluation du besoin.
- Rédaction du cahier des charges et analyse fonctionnelle.
- Etude et réalisation de la partie mécanique.

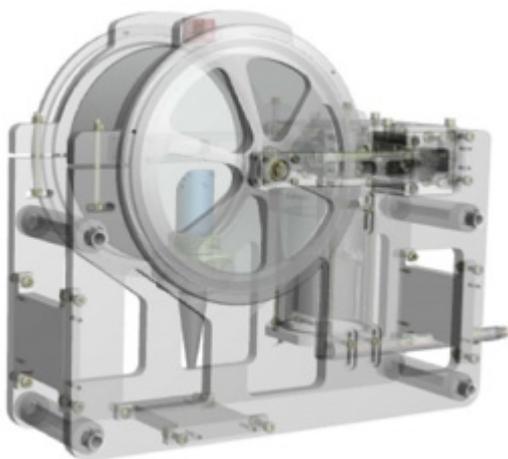


Figure 82 : Modèle CAO 3D du IODA6000 V6

- Simulation des contraintes pour le dimensionnement de plusieurs éléments mécaniques.
- Etude et réalisation de la partie électronique embarquée.
- Etude et réalisation de l'IHM et du firmware (web client sur Linux embarqué).

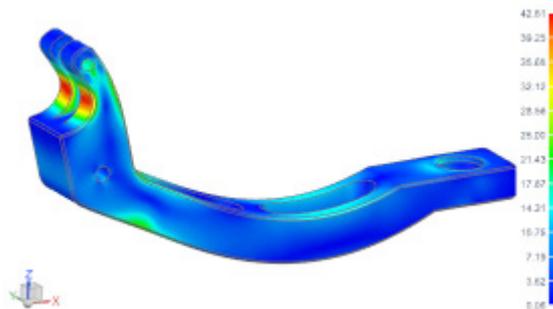


Figure 83 : Exemple de simulation de champs de contrainte sur un bras de fermeture

- Réalisation d'un prototype pour essais en laboratoire.
- Tests en laboratoire et bassin d'essais.



Figure 84 : Tests d'étanchéité à l'oxygène dissous en laboratoire (MIO)

2.25.4. Perspectives

Après les essais en laboratoire, le projet a été suspendu car le personnel impliqué sur le projet était occupé à 100% sur la construction de l'observatoire EMSO-KM3Net. La maquette de l'instrument a permis de valider le concept.

Au cours de l'année 2020, un modèle de IODA6000 V6 sera construit afin de valider l'instrument lors de campagnes en mer.

Personnel DT impliqué :

Carl Gojak, Karim Bernardet, Christophe Berthod, Yannick Fitamant, Karim Mahiouz.

Contact :

carl.gojak@cnr.fr

2.26. JUICE-SCM

Laboratoire demandeur : LPP.

Chercheur responsable : Thomas Chust (Co-I).

2.26.1. Objectifs scientifiques

La mission JUICE (Jupiter Icy Moons Explorer) est une mission spatiale de classe L de l'ESA. Elle étudiera de façon détaillée la planète Jupiter et son système dans toutes ses interactions et complexités en mettant l'accent sur Ganymède en tant que corps planétaire et habitat potentiel. Des études d'Europe et de Callisto compléteront la comparaison des lunes galiléennes. Un des objectifs de la mission portera sur l'étude de la magnétosphère jovienne incluant des observations approfondies des processus de couplage dans la magnétosphère, l'ionosphère et la thermosphère. Le décollage est prévu pour 2022 et l'arrivée dans le système de Jupiter en 2029.

2.26.2. Description technique

Au sein du consortium RPWI (Radio and Plasma Wave Instrument), le LPP est en charge de la conception et de la livraison d'un magnétomètre à induction de haute sensibilité dédié à la mesure des ondes magnétiques et soumis à des contraintes thermiques et radiatives extrêmes. L'ensemble de la conception, de la réalisation et de la validation mécanique a été confié à la DT-INSU.

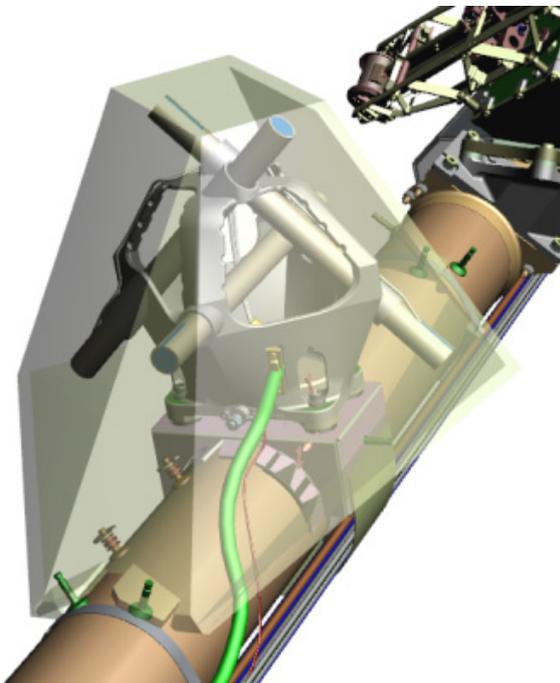


Figure 85 : L'instrument SCM fixé sur le bras déployable et protégé par une couche d'isolation thermique de type MLI

Le magnétomètre à induction (ou SCM pour Search Coil Magnetometer) permet de couvrir les mesures de champ magnétique du Hz jusqu'à 20 kHz. Le magnétomètre comprend 3 capteurs magnétiques

orthogonaux et une électronique qui sont placés sur un bras sortant du satellite de façon à minimiser les nuisances électromagnétiques provenant des autres instruments. Les capteurs doivent fonctionner sur une plage de températures comprises entre -175°C et $+80^{\circ}\text{C}$. Ces températures de fonctionnement représentent un défi technique. SCM doit également résister à une accélération de 70 g en statique et 2000 g en choc.

Conception mécanique :

La Division Technique a été chargée de la conception, des calculs statiques, dynamiques et thermoélastiques, de la mécanique des capteurs et de la structure porteuse ainsi que le boîtier recevant l'électronique, la couverture thermique (MLI), des MGSE et des outils de test. Elle a également défini le routage des câbles.

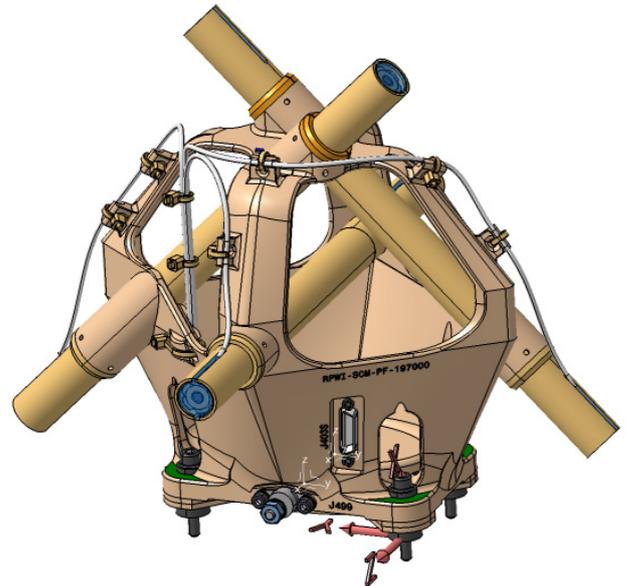


Figure 86 : Design du magnétomètre SCM avec sa structure porteuse, ses trois capteurs et le câblage

Analyses mécaniques et thermiques :

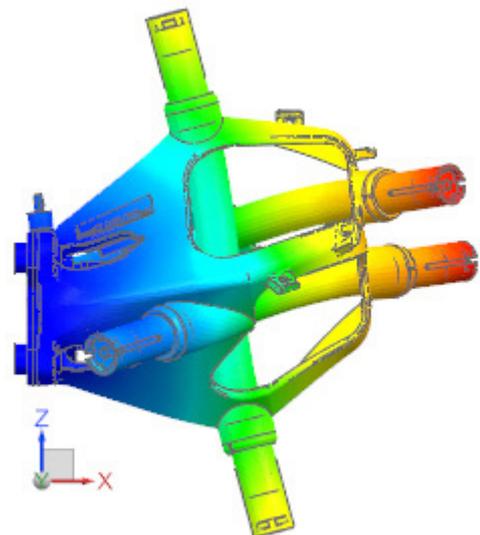


Figure 87 : Mode propre de vibration de SCM

Un modèle éléments finis détaillé a été créé en incluant la structure porteuse et les capteurs magnétiques. On y a appliqué les environnements de vol spécifiés, à savoir les charges statiques, les vibrations aléatoires, les chocs, et les écarts de température.

Prototypage :

Après quelques prototypes réalisés en impression 3D, l'usinage de la structure en thermoplastique PEEK sur un centre 4 axes a nécessité 42 repositionnements mais a permis de démontrer la faisabilité de l'usinage. La piste de la fabrication additive a été chiffrée mais écartée pour des raisons de validation délicate.



Figure 88 : Prototype de structure usinée

Suivi de réalisation :

Suite à la réalisation du prototype en usinage, nous avons fait faire les autres structures au LAB (Bordeaux) qui dispose d'une machine 5 axes et nous avons réalisé les autres pièces en interne.

Nous avons également effectué les contrôles et les assemblages en interne : AIT-AIV des modèles STM (structural thermal model), QFM, PFM et FS.

Au cours de l'année 2016, l'ensemble des pièces mécaniques ont été dessinées et des simulations dynamiques de la structure ont été réalisées. Au cours de l'année 2017, le design du modèle d'ingénierie a été affiné pour être définitivement figé mi 2018. Le design de la MLI a également été affiné et figé en 2018. Un EM a été réalisé en 2018 et le STM et QM en 2019. Des premiers tests thermiques ont été réalisés en utilisant l'EM car fidèle thermiquement.

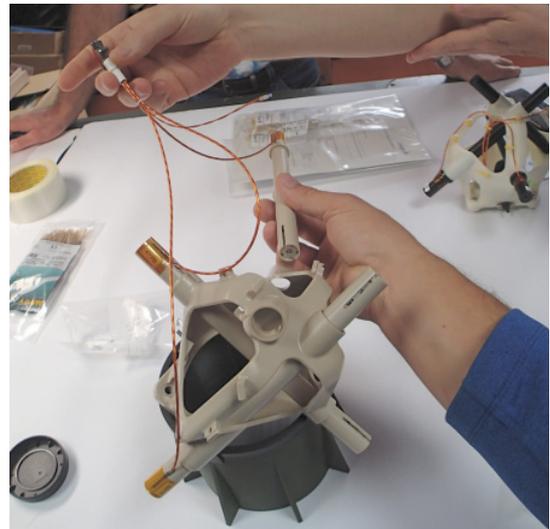


Figure 89 : Assemblage du modèle STM de JUICE-SCM

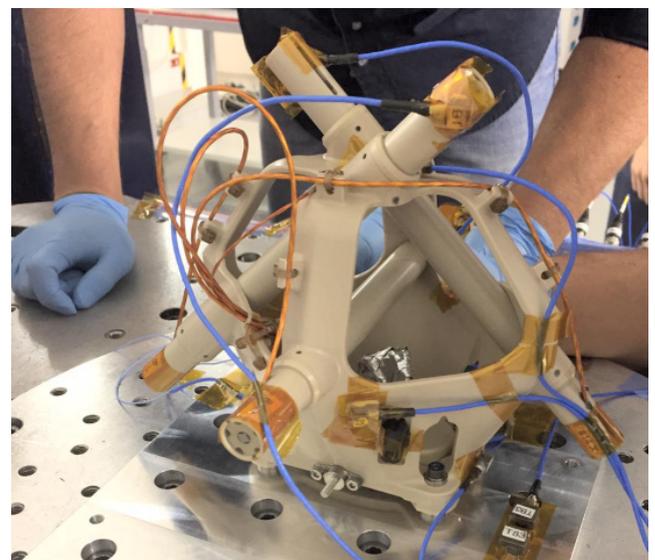


Figure 90 : Instrument SCM sur table vibrante pour les tests de vibrations et de chocs

En 2019, les STM ont été livrés. Suite aux tests vibratoires et chocs d'octobre 2019 concluant à la bonne tenue mécanique de l'assemblage et une bonne cohérence calcul-mesure, les QM, PFM et FS ont aussi été livrés ainsi que la documentation associée.

Personnel DT impliqué :

Nicolas Geyskens, conception mécanique.

Christophe Berthod, simulations numériques.

Benoit Lemaire et Aurélien Cléménçon pour la réalisation, le contrôle et les assemblages.

Contact :

nicolas.geyskens@cnr.fr

2.27. JUICE-SWI

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

2.27.1. Objectifs scientifiques

JUICE (Jupiter Icy Moons Explorer) est une mission spatiale de l'ESA vers les satellites naturels 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 et plus précisément sa 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 particulière sont dominants. JUICE-SWI tentera de répondre aux questions suivantes : Comment l'énergie interne générée dans l'intérieur de la planète se propage-t-elle vers l'extérieur pour y être rayonnée ? Quelle est le régime de la circulation atmosphérique en fonction de l'altitude et comment les différentes régions atmosphériques sont-elles couplées entre elles ?

Le premier objectif de SWI sera la mesure directe et simultanée de profils de température et de profils de vents. Le deuxième objectif de SWI concernera la chimie de la stratosphère et son couplage avec les phénomènes de transport.

L'instrument SWI aura aussi des objectifs secondaires qui concernent les satellites galiléens, notamment l'atmosphère d'Io et celle d'Europe.

Pour réaliser ces objectifs scientifiques, l'instrument a été initialement 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 H₂O à 1097 GHz, les autres espèces mineures seront quant à elles observées à 540-640 GHz.

Par suite de l'évolution de la composition du consortium SWI, l'instrument a été défini sur une base de deux canaux identiques autour de 600 GHz, avant de réintégrer le canal 1200 GHz en mai 2016, suite aux résultats obtenus au LERMA et à la décision du CNES de financer cette extension de contribution.

2.27.2. Description technique

La Division Technique de l'INSU est 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.

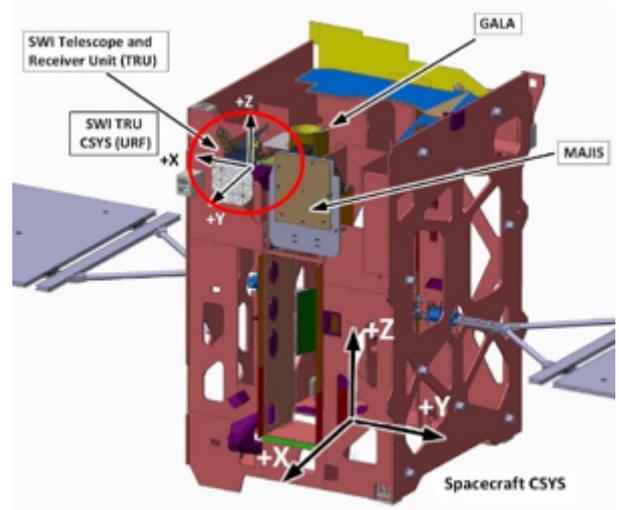


Figure 91 : Structure de la sonde JUICE et localisation (en rouge) de l'unité de réception de l'instrument SWI

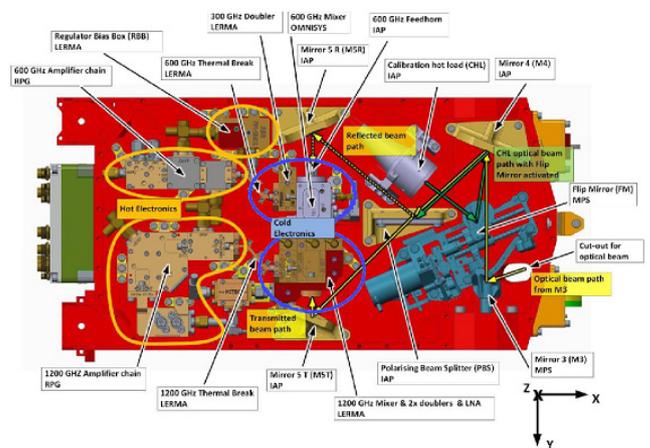


Figure 92 : Platine TRU vue de dessus et contribution LERMA-DT (entourée en bleu)

Dans la demande de soutien, il a été demandé un support en termes de design, de calculs de structure et de calculs thermiques pour les différents récepteurs.

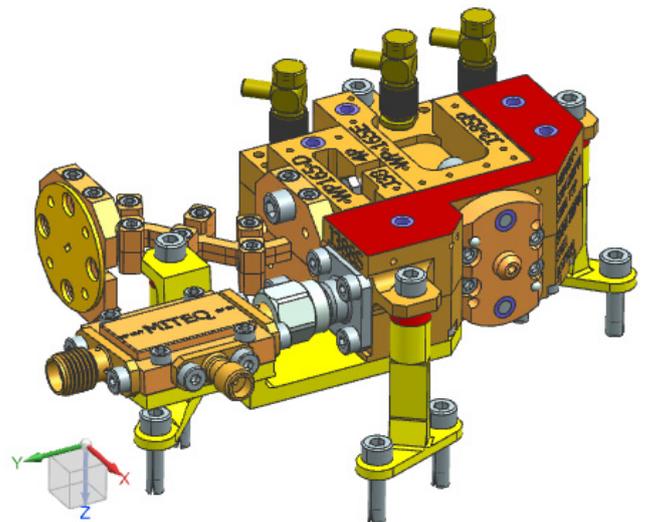


Figure 93 : Chaîne 1200 GHz de JUICE-SWI, dimensions 85x60x32 mm, masse 175 g

Mécanique (design, réalisation, et tests) :

La DT a été chargée de réaliser les dossiers de plans de fabrication des instruments, le suivi de la réalisation et de participer aux tests. Ces activités doivent tenir compte des nombreuses modifications induites par l'évolution constante des interfaces avec les autres parties de l'instrument, en particulier au niveau du Telescope and Receiver Unit (TRU) où les contraintes d'encombrement sont nombreuses et où le choix de la connectique est important.

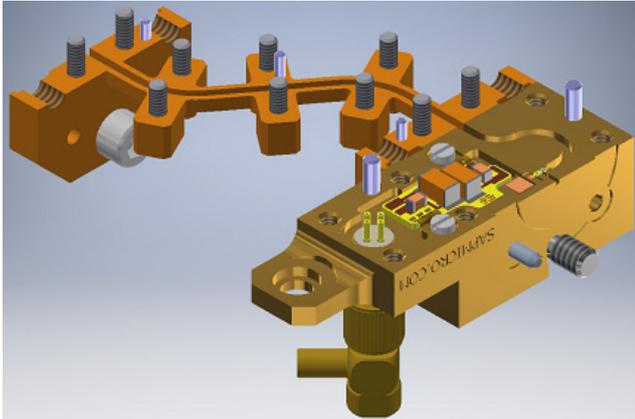


Figure 94 : Modèle EM des doubleurs D300X1 et D300X2

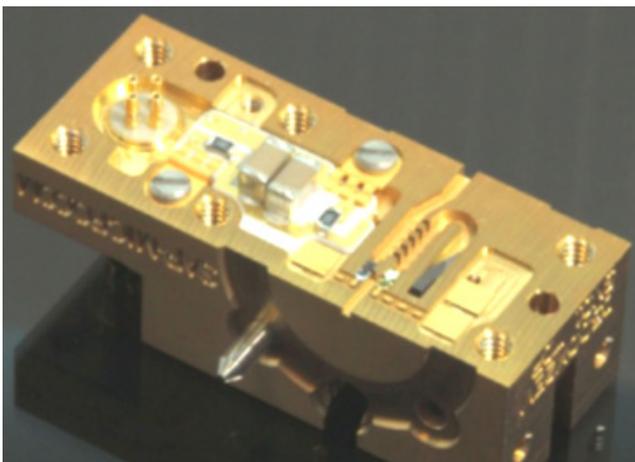


Figure 95 : Réalisation du doubleur

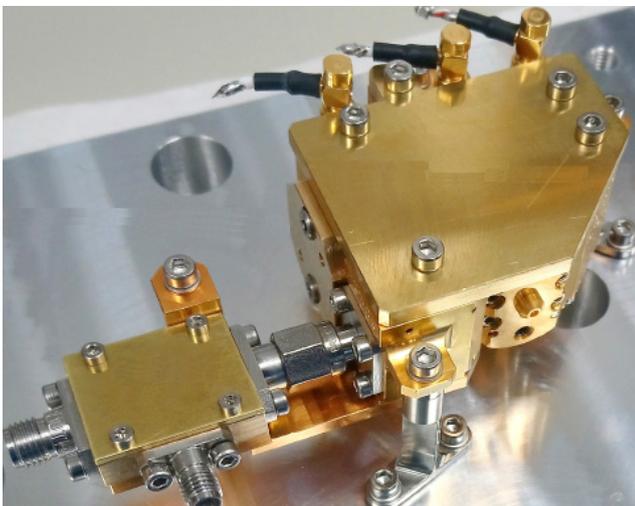


Figure 96 : Chaîne 1200 GHz sur table vibrante pour les tests de vibrations et de chocs

Analyses mécaniques et thermiques :

Des modèles éléments finis de chaque composant des chaînes de fréquence ont été créés afin de leur appliquer numériquement les environnements de vol : charges statiques, vibrations aléatoires, chocs.

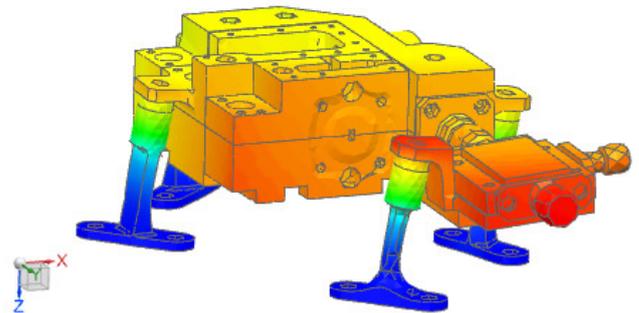


Figure 97 : Mode propre de vibration du bloc 1200 GHz

Les tests de juillet 2019 sur table vibrante ayant montré un écart entre calculs et mesures, une mise à jour de la modélisation a été rendue nécessaire afin d'investiguer sur les non-conformités révélées lors du démontage, et sur les possibles solutions à y apporter.

Par ailleurs, des simulations thermiques ont été menées, aussi bien à l'échelle des diodes des circuits intégrés conçus par le LERMA qu'à l'échelle d'un boîtier.

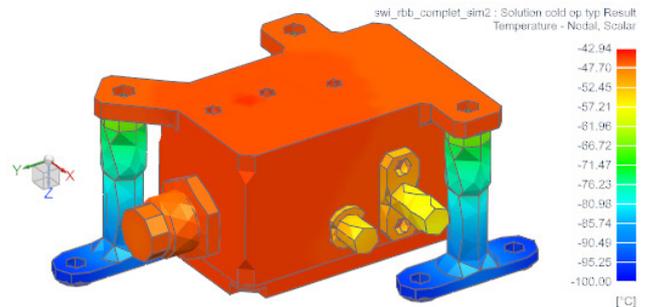


Figure 98 : Températures calculées dans un cas froid de conditions opérationnelles

Personnel DT impliqué :

Joseph Spatazza, conception mécanique.

Christophe Berthod, simulations numériques.

Contacts :

joseph.spatazza@cns.fr

christophe.berthod@cns.fr

2.28. Lidar LNG

Thématiques INSU : Océan-Atmosphère / atmosphère.

Chercheurs : Cyrille Flamant (LATMOS), Jacques Pelon (LATMOS).

2.28.1. Rôle de la DT

Le rôle principal de la Division Technique est de réaliser l'étude (mécanique, électronique, informatique, calculs), le développement et la fabrication interne et sous-traitée d'instruments de type lidar, de fournir un dossier permettant sa certification avionique, d'assurer la logistique, l'installation et la mise en œuvre de l'instrument en France et à l'étranger lors de campagnes aéroportées.

Deux lidars, LEANDRE 2 et LNG, ont été certifiés, puis mis en œuvre dans les deux avions, ATR 42 et Falcon 20, opérés par l'unité SAFIRE, durant des campagnes aéroportées en France et à l'étranger. Le lidar vapeur d'eau LEANDRE 2 n'est plus opérationnel.

2.28.2. Objectifs scientifiques

Le LNG (LEANDRE Nouvelle Génération) est un lidar rétrodiffusion aéroporté. Il remplace depuis 2006 LEANDRE 1 (Lidar Embarqué pour l'étude des Aérosols, Nuages, Dynamique, Rayonnement et Espèces minoritaires). Son développement a été réalisé par la DT et le LATMOS dans le cadre du programme RALI (RADAR-Lidar), association d'un lidar et d'un radar dont l'objectif principal est la restitution des paramètres microphysiques, radiatifs et dynamiques des nuages.

Le LNG fonctionne sur trois longueurs d'ondes : l'ultraviolet (355 nm), le visible (532 nm) et l'infrarouge (1064 nm).

2.28.3. Description technique

Emission :

Laser Nd : YAG déclenché, monomode longitudinal par injection (60 mJ à 355 nm, 10 mJ à 532 nm, 80 mJ à 1064 nm, répétition 20 Hz).

Réception :

Télescope ouverture 300 mm, 4 voies : 355 nm en polarisations parallèle et perpendiculaire, 532 nm et 1064 nm.

Détection, acquisition :

Photomultiplicateurs à 355 nm et 532 nm, photodiode à avalanche à 1064 nm. Digitalisation analogique à 25 MHz sur 16 bits.



Figure 99 : Le LNG dans le Falcon 20 de SAFIRE

Option :

Haute Résolution Spectrale (HRS) à 355 nm. Il s'agit d'une option de détection qui permet la pénétration dans un nuage de glace de grande extension verticale en présence d'une variation importante des propriétés physiques. Elle permet de s'affranchir de la nécessité de disposer d'une région de diffusion connue pour déterminer la fonction de phase des particules et l'extinction nuageuse. Pour pouvoir effectuer cette séparation, il faut que le laser à l'émission ait un spectre monomode de grande pureté spectrale. Le rapport entre les différents signaux permet de restituer l'extinction optique totale, l'extinction optique des aérosols, la fonction de phase du changement par les aérosols en plus de tous les paramètres mesurés par le lidar rétrodiffusion. Ce développement innovant repose sur l'analyse des signaux délivrés par un interféromètre de Mach-Zehnder relié au LNG par une fibre optique à la voie 355 nm en polarisation parallèle. Le LNG est actuellement le seul lidar aéroporté disposant d'une HRS à 355 nm, longueur d'onde utilisée par les lidars spatiaux des missions ADM pour la mesure du vent (lancement en 2018) et Earthcare pour la caractérisation des nuages.

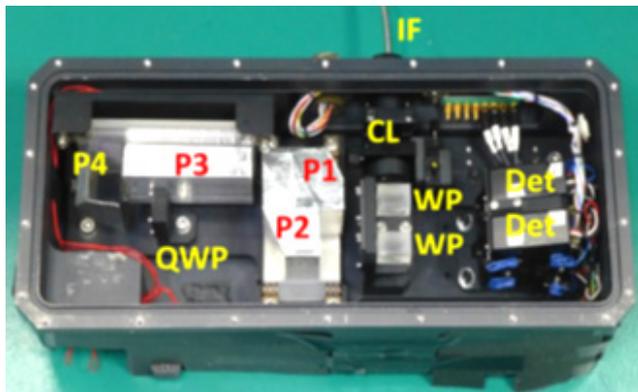


Figure 100 : Interféromètre de Mach-Zehnder (optique et électronique de détection)

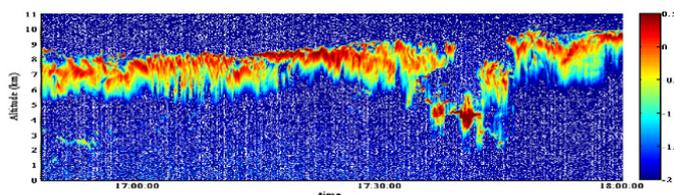


Figure 101 : Données de vol durant la campagne Nawdex (Islande, octobre 2016)

Développements techniques :

- Amélioration du rapport signal à bruit de l'acquisition par l'étude et la réalisation de préamplificateurs/ADC 16 bits 25 Mhz.
- Développement d'un système de contrôle de l'alignement du télescope durant le vol.
- Ajout d'un miroir atmosphérique (miroir ADM) permettant d'avoir un tir nadir incliné à 37° dans le Falcon 20 pour les vols de calibration ADM/Aeolus.
- Afin de pouvoir utiliser un laser pompé par diode (fréquence de tir de 150 Hz au lieu de 20 Hz actuellement), l'étude d'une nouvelle acquisition a débuté fin 2019.

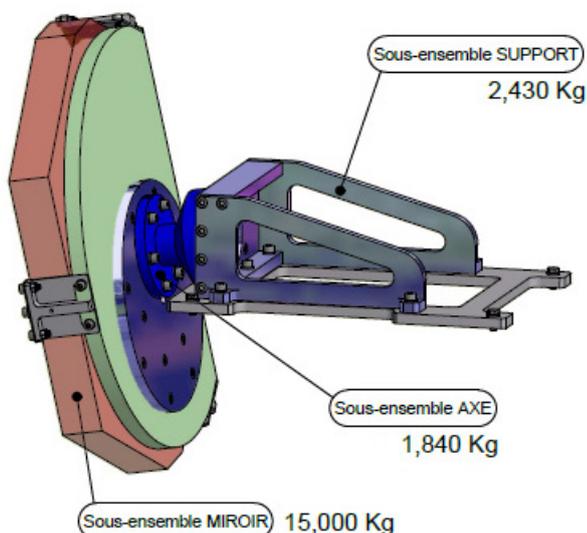


Figure 102 : Ensemble miroir incliné

2.28.4. Campagnes

- ADM en nov-déc 2015 à Toulouse, Falcon 20.
- NAWDEX/EPATAN en octobre 2016 en Islande, Falcon 20.
- AEROCLO en août-sept 2017 en Namibie, Falcon 20.
- CALVAL AEOLUS en sept-nov 2019 à Toulouse, Falcon 20.

Personnel DT impliqué :

F. Blouzon : chef de projet, électronicien.

A. Abchiche : contrôle-commande.

A. Cléménçon, B. Lemaire, J.-C. Samaké, J. Spatazza, N. Geyskens : Bureau d'étude mécanique.

C. Berthod : calculs de structure.

N. Amarouche : acquisition temps réel.

O. Aouji, F. Blouzon : électronique.

Personnel LATMOS :

C. Flamant, J. Pelon : PI.

D. Bruneau : optique, laser, tests, analyse des performances et post-traitement.

P. Genau : IHM, traitement différé et base de données.

Contacts :

frederic.blouzon@cnr.fr

jacques.pelon@latmos.ipsl.fr

cyrille.flamant@latmos.ipsl.fr

2.29. Lidar μ DIAL

Laboratoire demandeur : LSCE.

Chercheur : Patrick Chazette.

2.29.1. Objectifs scientifiques

Ce projet, démarré en 2019, a pour vocation le développement d'un lidar à absorption différentielle pour la mesure de la distribution de la vapeur d'eau dans l'atmosphère.

Cet instrument sera à terme embarquable sur les avions de recherche français opérés par l'UMS SAFIRE.

Les principaux jalons de développement sont d'avoir un instrument opérable en laboratoire pour fin 2020, puis un instrument déployable sur le terrain au 1er semestre 2021.

Les avantages de ce futur instrument sont :

- Une technologie qui repose sur du matériel « disponible dans le commerce »,
- Une fiabilité éprouvée des composants à faible énergie laser (μ),
- Une maintenance réduite,
- Un encombrement et une consommation électrique réduits,
- Un domaine spectral dans le proche infrarouge pour lequel des détecteurs performants sont disponibles dans le commerce,
- Un fonctionnement en comptage de photons,
- Une adaptation sur les 3 avions de la flotte gérée par SAFIRE et au sol.

Ses limitations sont :

- Une faible énergie émise (μ), donc une portée limitée à environ 4 km et une nécessité de moyennage dans le temps (5 minutes), ce qui réduit la résolution spatiale horizontale,
- Un filtrage spectral très étroit dépendant de la température, la nécessité d'un asservissement en température des composants optiques (filtres interférentiel / Fabry-Pérot) à 0,01°C (confinement + Peltier),
- Une architecture de télescope à champ étroit pour limiter le fond de ciel (alignement initial délicat).

2.29.2. Rôle de la DT

La DT est impliquée dans les parties acquisition (comptage sortie APD), synchronisation des signaux on/off, contrôle-commande de l'ensemble,

enregistrement, et interface homme-machine. Elle travaille donc en interaction directe avec le LSCE qui est en charge du projet, des parties optiques et de l'intégration mécanique.

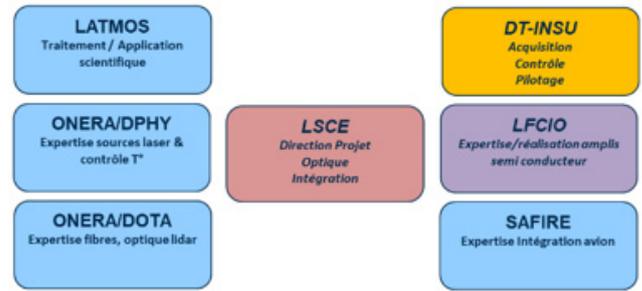


Figure 103 : Organigramme de répartition des tâches

2.29.3. Description technique

L'émission est composée de deux diodes laser, une dite λ -on (centrée sur une raie de vapeur d'eau à 828.x nm) et une dite λ -off (centrée hors raie de vapeur d'eau, à 828.y nm). Ces deux voies émettent en continu.

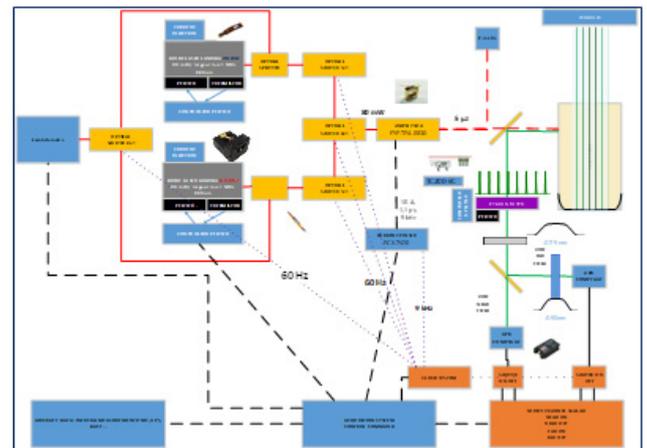


Figure 104 : Schéma de fonctionnement

Le système d'acquisition sélectionne alternativement, via des switches optiques, une de ces deux diodes laser. Cette voie optique est injectée dans un amplificateur optique. Cet amplificateur optique est piloté par une alimentation de courant pulsée à 9 kHz et on obtient alors une émission pulsée qui passe successivement de λ -on puis λ -off.

Détection, acquisition :

La détection est basée sur la technologie de comptage. Il y a deux voies, Near et Far. Pour chaque voie, il y a un module APD qui délivre un signal TTL lorsque des photons arrivent sur leur entrée optique.

Le système d'acquisition conçu et développé par la DT réalise ainsi le comptage des pulses TTL émis par ces modules APD. Cela permet donc d'avoir un profil équivalent en altitude en fonction du temps d'arrivée

des signaux TTL. Aussi, ce système d'acquisition, qui contrôle les switches optiques (comme décrit au paragraphe précédent), produit des profils dits On et Off, lié à λ -on et λ -off.



Figure 105 : Carte d'acquisition

Contrôle commande, interface homme-machine :

Le système de contrôle-commande du lidar, conçu et développé par la DT, a pour rôle la gestion des interfaces numériques de l'instrument :

- L'asservissement des longueurs d'onde de λ -on et λ -off (via un lambdamètre et un module de contrôle des diodes Thorlabs),
- Le contrôle du pulseur de courant,
- Le contrôle du pulsomètre, etc.

Il est en interface avec le système d'acquisition pour lire plusieurs fois par seconde les comptages obtenus. L'ensemble des informations est enregistré et présenté à l'affichage graphique pour l'utilisateur.



Figure 106 : Interface graphique

Personnel DT impliqué en 2019 :

Nadir Amarouche : contrôle-commande, acquisition post front end.

Gabriel Degret : acquisition front end, synchronisation émission laser, comptage FPGA.

Fabien Frérot : électronique (schématique, routage FPGA).

Personnel du LSCE :

Patrick Chazette : PI, spécialiste lidar.

Julien Totems : chef de projet, optique, intégration mécanique.

Personnel du Laboratoire Charles Fabry Institut d'Optique (LCFIO) :

Gaëlle Lucas Leclin : maître de conférences à l'Institut d'Optique, spécialiste amplificateur optique.

Sylvie Janicot : ingénieur spécialiste instrumentation optique.

Contact :

nadir.amarouche@cnsr.fr

gabriel.degret@cnsr.fr

julien.totems@lsce.ipsl.fr

patrick.chazette@lsce.ipsl.fr

2.30. Lidar OPAR

Thématique INSU : Océan-Atmosphère.

Laboratoire demandeur : OSU-Réunion UMS3365.

Responsable : Nicolas Marquestaut.

2.30.1. Objectifs scientifiques

Ce projet a pour but d'automatiser le fonctionnement des lidars de l'Observatoire de Physique de l'Atmosphère de la Réunion (OPAR) qui sont intégrés dans le réseau NDACC-France et qui sont à l'Observatoire du Maïdo (île de la Réunion). Le premier enjeu est scientifique, en augmentant considérablement la fréquence et la durée des observations, ce qui permettra de définir des tendances de façon plus précise, celles-ci étant actuellement trop limitées par les ressources humaines allouées aux observations lidars. L'OPAR comporte actuellement 4 lidars différents (Li1200, LiO3T, LiO3S et LiWind), permettant de mesurer la vapeur d'eau, principal gaz à effet de serre jouant un rôle fondamental dans le climat, l'ozone (troposphérique et stratosphérique), la température et le vent. Cette mesure des paramètres dynamiques permet le suivi du processus d'ajustement géostrophique ainsi que l'étude des ondes de gravité.



Figure 107 : Tir laser à l'Observatoire du Maïdo

2.30.2. Description technique

Pour répondre aux besoins scientifiques et techniques, et pour pouvoir relâcher les contraintes sur les ressources humaines, le projet d'automatisation des lidars doit permettre :

- Le fonctionnement des lidars de manière autonome de nuit sans nécessiter la présence d'un agent, car le personnel de l'UMS se rend sur place une fois par jour pour les opérations de maintenance et pour démarrer la mesure lidar.

- Des performances instrumentales équivalentes sur le long terme (10 ans).
- Des mesures optimisées (alignement optique, saturation, sensibilité) de nuit, par ciel clair, soit manuellement, soit de manière automatique, soit par un pilotage à distance.

Le lidar vapeur d'eau est le premier lidar du parc de l'OPAR qui est en cours d'automatisation. Le système est équipé de deux lasers, de deux télescopes dont l'un avec un miroir primaire de 120 cm, et de deux boîtiers de détection contenant au total 4 voies Rayleigh et 3 voies Raman.

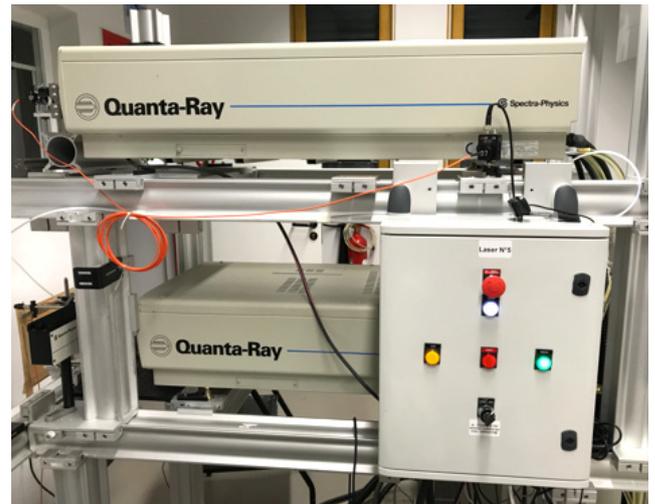


Figure 108 : Boîtier laser pour l'automatisation du lidar

2.30.3. Activités

La DT-INSU a été moteur sur la structuration logiciel et matériel de l'architecture pour l'automatisation du lidar Li1200, en proposant une solution à base de micro PC LattePanda et du protocole OPC-UA.

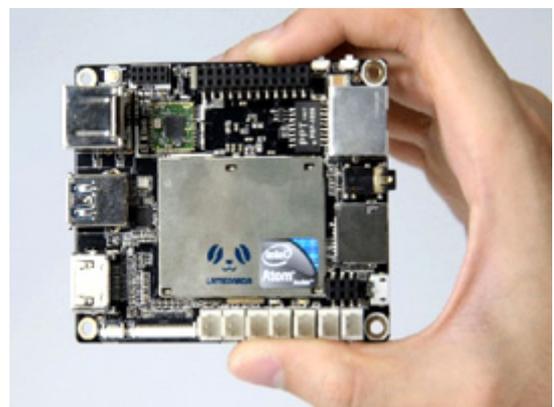


Figure 109 : Carte micro PC LattePanda

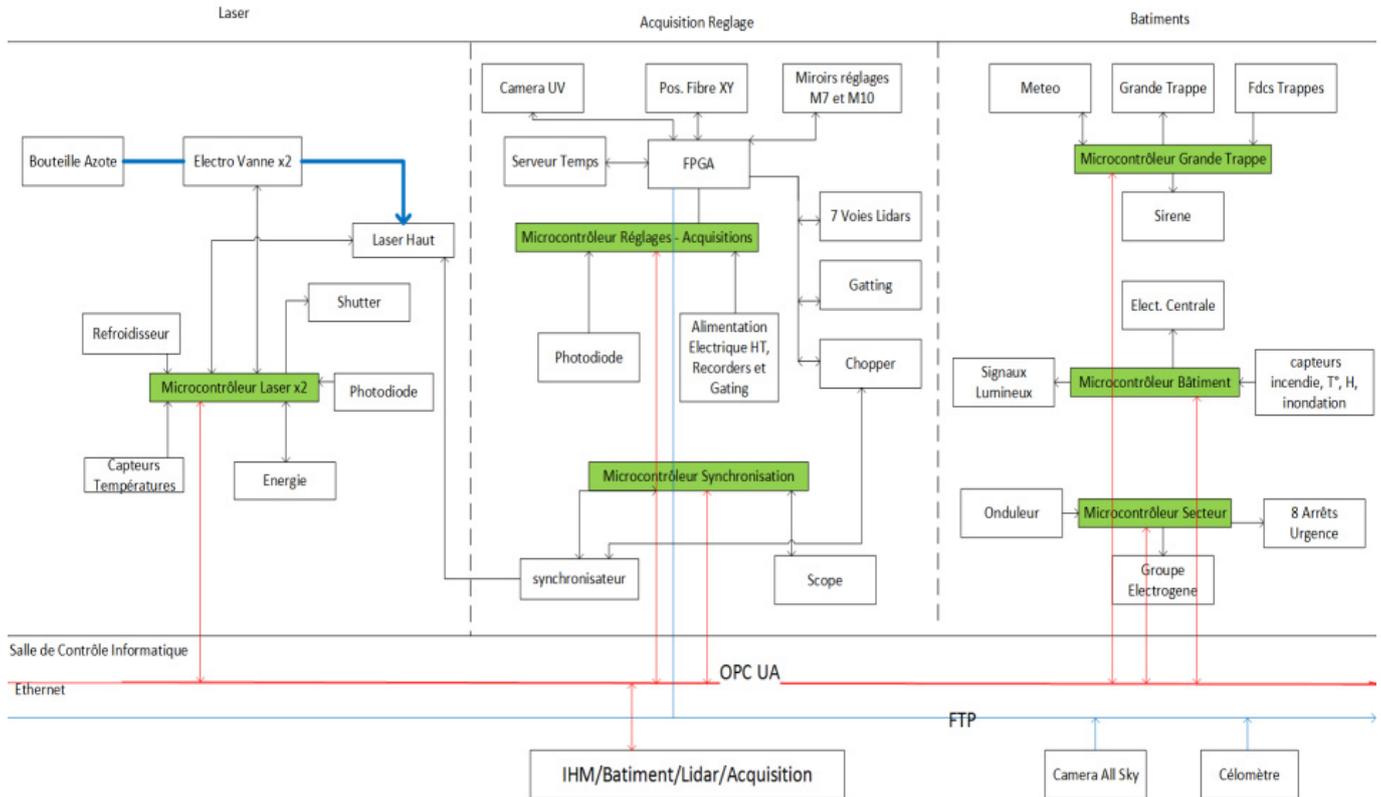


Figure 110 : Schéma simplifié de l'architecture de l'automatisation du lidar Li1200

2.30.4. Perspectives

Pour les années 2020 – 2021, la Division Technique va développer et définir la base de données OPC-UA, un programme de supervision, ainsi qu'un soutien technique pour la mise en relation de client physique (boîtier laser, ceilomètre, station météo) au serveur OPC-UA.

Personnel DT impliqué :

Abdel Abchiche : architecture.

Nadir Amarouche : architecture.

Oualid Aouji : informatique.

Gilles Buchholtz : informatique et architecture.

Contact :

gilles.buchholtz@cnsr.fr

2.31. Lidar WaVIL

Laboratoire demandeur : LATMOS.

Chercheur : Cyrille Flamant.

2.31.1. Objectifs scientifiques

Il s'agit du développement d'un lidar à absorption différentielle compact, transportable, pour mesurer la concentration de l'isotope de la vapeur d'eau HDO, avec une grande résolution spatio-temporelle dans la basse troposphère. Le lidar vapeur d'eau et isotope est un instrument unique, novateur qui, pour la première fois, va permettre de mesurer les profils de vapeur d'eau et d'abondance isotopique pour faire progresser les connaissances sur le cycle de l'eau à des échelles pertinentes pour la météorologie et le climat.

Ce projet est financé par l'ANR (ANR-16-CE01-0009).

2.31.2. Description technique

Le cœur du projet WaVIL (Water Vapor Isotope Lidar) concerne le développement de la maquette DiAL sous la responsabilité de l'ONERA. Le système WaVIL comprend un laser accordable basé sur un oscillateur paramétrique optique (OPO) dont l'émission est positionnée précisément sur une ligne d'absorption sélectionnée dans le proche infrarouge (1981-1984 nm). La conception de l'OPO par l'ONERA est une étape clé du développement.

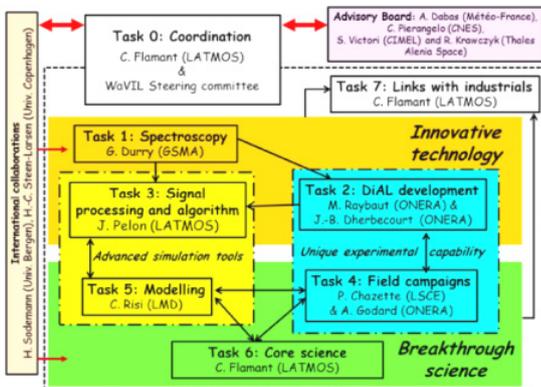


Figure 111 : Organisation du projet WaVIL

La Division Technique de l'INSU est impliquée dans la tâche 2 du projet, pour la partie électronique et mécanique de l'optique de réception, ainsi que dans la tâche 4 pour les campagnes de mesures (AIT).

La DT a acquis depuis de nombreuses années un savoir-faire sur l'électronique très bas bruit à grand gain de réception des signaux lidars (photomultiplicateur, photodiode APD ou PIN, refroidissement Peltier...), ainsi que sur les interfaces mécaniques de réception (téléscope, boîtiers optiques...) dans des environnements difficiles (avion, atmosphère froide ou chaude...).

Etude et réalisation de l'électronique d'acquisition (très grand gain et très bas bruit) :

- Développement d'un préamplificateur associé à un convertisseur numérique 16 bits à 25 MHz.
- Développement d'une interface de contrôle/commande Peltier afin de réguler la température de la diode PIN de réception autour de -20°C .
- Développement d'une carte FPGA d'interface numérique (USB3) entre la détection et l'acquisition globale du lidar (ONERA).

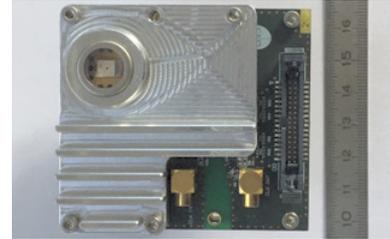


Figure 112 : Electronique d'acquisition pour WaVIL

Etude et réalisation de la mécanique de réception du télescope et du miroir secondaire :

La photocathode de la diode PIN de réception du signal lidar fait 0.3 mm. La mécanique de réception développée permet l'assemblage des optiques de réception du télescope et doit permettre un réglage (X,Y,Z) de la position du détecteur afin de centrer correctement celui-ci sur le champ du télescope. Elle doit aussi assurer une fiabilité de ce positionnement lors des déplacements sur le terrain (vibrations, températures).

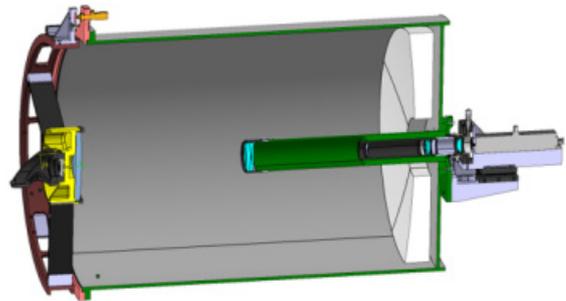


Figure 113 : Vue intérieure du télescope du lidar WaVIL

Personnel DT impliqué :

Frédéric Blouzon : coordinateur DT et responsable WP électronique acquisition Front End.

Nicolas Geyskens, Alexandre Blin, Aurélien Cléménçon : bureau d'étude, mécanique.

Qualid Aouji, Frédéric Blouzon : électronique et tests.

Contact :

frederic.blouzon@cnrs.fr

2.32. Marégraphe nouvelle génération

Laboratoires demandeurs :

- LEGOS Toulouse UMR5566 - OSU Observatoire Midi-Pyrénées, Laurent Testut.
- Observatoire de Paris-Meudon, SYRTE, Pascal Bonnefond.

2.32.1. Cadres

Dans le cadre du programme NIVMER (NIVEau de la MER), un marégraphe autonome a été développé par la DT Brest, en vue du renforcement de la station utilisée à Dumont D'Urville pour le service ROSAME (Réseau d'Observation Subantarctique et Antarctique du niveau de la MEr) et de prévention des tsunamis.

Dans le cadre des programmes FOAM (From Ocean to inland water Altimetry Monitoring), 4 électroniques de marégraphes autonomes ont été développées, en vue du remplacement des précédentes à base de carte à microcontrôleur Persistor qui ne se font plus.

2.32.2. Description technique

La R&D concerne le développement d'une carte à microcontrôleur Cortex M3, du marégraphe (électronique faible consommation, horloge faible dérive, qualité de la mesure), et de son enceinte mécanique.

Carte Cortex M3 :



Figure 114 : Carte Cortex M3 sur la carte d'application marégraphe

La DT a développé une carte à microcontrôleur ARM. Le microcontrôleur utilisé est un modèle ARM Cortex M3 32 bits EFM32 faible consommation de chez Energy Micro (Silicon-labs). Sur la carte il y a aussi des interfaces comme la RTC externe PCF2129 à TCXO intégré faible dérive (calendrier, interruptions, watchdog), des drivers RS232 pour les ports séries, une RAM 32Kx8bits, des UART SPI, une carte µSD, une pile 3V de backup, des régulateurs de tension pour fournir le 3.3V. La carte mesure 6.5x10 cm. Elle peut être connectée sur une autre carte grâce à un connecteur 50 points qui comporte des signaux

comme des IO, des voies ADC, des bus SPI, des tensions.

Marégraphe :

La carte fille marégraphe comporte un ADC pour la mesure des paramètres technologiques (température, tension de batterie, humidité), et des drivers MAX3223 comme interfaces RS232 pour la lecture des capteurs de pression, de conductivité et de température.

- Paramétrable : le système proposé par la DT permet un contrôle du temps d'intégration du capteur de pression et des paramètres d'échantillonnage.
- Précision, stabilité : le système cherche à minimiser les dérives instrumentales pour une meilleure stabilité absolue de la mesure. Une horloge de précision faible dérive a également été intégrée au microcontrôleur.
- Autonomie : le marégraphe consomme 40 µA en veille, et 42 mA en mesure. Son autonomie est de 4 ans avec un échantillonnage de la marée toutes les 20 minutes et un temps d'intégration de 40 s.
- Conteneur : plastique ou titane.
- Etalonnage : vérification de la dérive thermique du capteur de pression au SHOM (Service Hydrographique de la Marine) à Brest.



Figure 115 : Marégraphe DT-INSU

Capteur de pression Paroscientific :

- Stabilité thermique: +/- 0.05 mbar/°C
- Hystérésis : +/- 0.18 mbar

2.32.3. Installations

5 marégraphes autonomes :

- Senetosa (Corse) en 2018/2019.
- DDU (Antarctique) en 2020.



Figure 116 : Marégraphe sur le site de Senetosa

Coût matériel des nouveaux marégraphes :

- 5 électroniques : 1500 €.
- 1 marégraphe complet DDU en titane : 16 k€.

Financement :

R&D DT-INSU 5.3 k€ et LEGOS 12.3 k€.

Personnel DT impliqué :

Christine Drezen, Cédric Brachet, Michel Calzas, soutien de la DT Meudon.

Contact :

christine.drezen@cnr.fr



Figure 117 : Comparaison entre les 4 marégraphes de Corse M3, M4, M5 et M7. Les différences de niveaux observées (sur la moyenne Mean et la déviation SDEV) sont meilleures que le centimètre.

2.33. Marel

Mesure de pCO₂ sur la bouée Marel Iroise

Laboratoire demandeur : IUEM.

Chercheur : 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.

2.33.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

2 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.



Figure 118 : Bouée Marel Iroise équipée d'un capteur pCO₂

2.33.4. Perspectives

Poursuite du programme de suivi environnemental avec observation haute fréquence du CO₂ en milieu côtier.

Publications :

Y. Bozec, L. Merlivat, A.-C. Baudoux, L. Beaumont, S. Blain, E. Bucciarelli, T. Danguy, E. Grossteffan, A. Guillot, J. Guillou, M. Répécaud, P. Tréguer, « Diurnal to inter-annual dynamics of pCO₂ recorded by a CARIOCA sensor in a temperate coastal ecosystem (2003–2009) », *Marine Chemistry*, 126 (2011) 13-26.

Doi : 10.1016/j.marchem.2011.03.003

Lesley A. Salt, L. Beaumont, S. Blain, E. Bucciarelli, E. Grossteffan, A. Guillot, S. L'Helguen, L. Merlivat, M. Répécaud, L. Quémener, P. Rimmelin-Maury, P. Tréguer, Y. Bozec, « The annual and seasonal variability of the carbonate system in the Bay of Brest (Northwest Atlantic Shelf, 2008–2014) », *Marine Chemistry*, 2016.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.marchem.2016.09.003>

Personnel DT impliqué :

Benoit Arnold, Laurence Beaumont, Antoine Guillot.

Contact :

laurence.beaumont@cnsr.fr

2.34. MARIN-A

Laboratoire demandeur : IPGP.

Chercheur : Wayne Crawford.

2.34.1. Objectifs scientifiques

Lors de campagnes de mesures, 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 RESIF) qui auront la charge de les mettre à disposition de chercheurs sismologues.

2.34.2. Description technique

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

- Collecte des résultats de campagne (données/métadonnées de réseau et stations/OBS) au sein d'un parc OBS.
- Validation et prétraitement des données/métadonnées.
- Traitement et contrôle qualité des données sismologiques collectées.
- Livraison des résultats de campagne au Nœud-B RESIF.
- Conservation des données/métadonnées pendant au maximum 5 ans.

2.34.3. Activités

Les données sismiques, collectées par des OBS lors de campagnes de mesures (Rhum-Rum/2013, AlpArray/2017, Lapaz/2014, EMSO-MoMAR/2015, ROV-Smooth/2016, PILAB/2016, SMARTIES/2019, MAYOBS/2019) ont pu être traitées avec des logiciels développés pour le Nœud-A marin et, pour certaines campagnes, livrées manuellement à un centre d'archivage/distribution RESIF.

2.34.4. Perspectives

Les étapes à venir, étalées sur trois fois six mois, concerneront la réalisation des sous-ensembles fonctionnels suivants :

- Transfert vers la machine serveur Nœud-A des données/métadonnées préparées par la machine serveur du parc OBS.
- Traitement des données sismologiques pour correction temporelle.
- Génération de graphiques pour contrôle qualité semi-automatique/visuel des données.
- Livraison d'archives sismologiques au Nœud-B RESIF.

Personnel DT impliqué :

Olivier Dewée.

Contact :

olivier.dewee@cnrs.fr

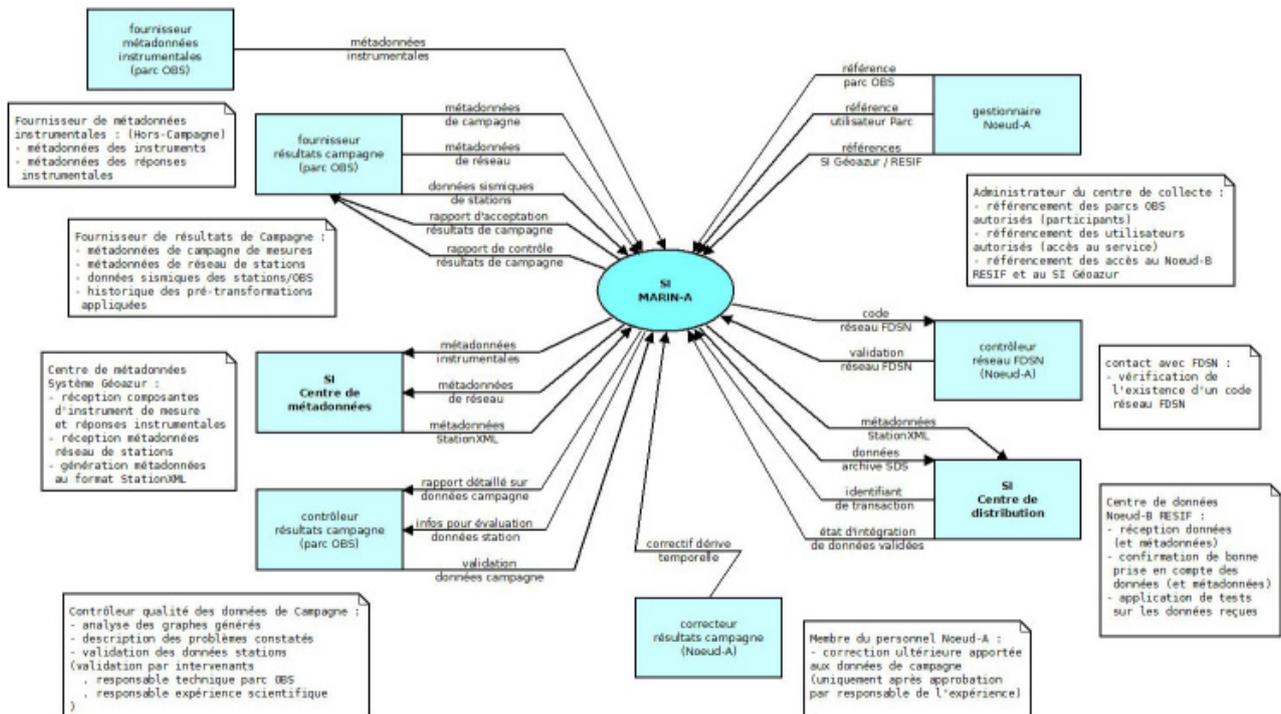


Figure 119 : Environnement du système MARIN-A (diagramme de contexte)

2.35. MICADO

Thématique INSU : Astronomie-Astrophysique

Laboratoire demandeur : LESIA.

Chercheur : Yann Clénet.

2.35.1. Objectifs scientifiques

L'ELT (Extremely Large Telescope) est un télescope de 39 m de diamètre, dont la mise en opération est attendue fin 2025 et qui permettra des percées majeures dans des domaines clés de l'astrophysique comme l'étude de la formation des premières galaxies ou la recherche de planètes extrasolaires dans la zone habitable de leur étoile hôte.



Figure 120 : Vue de l'ELT au Chili

MICADO est l'imageur de première lumière de l'ELT. La caméra fonctionnera dans le proche IR à la limite de diffraction de l'ELT et avec un champ de vue d'environ une minute d'arc. Développée sous le PI-ship du Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics de Garching (MPE), sa conception a été axée sur une très grande sensibilité et une très haute précision astrométrique. MICADO aura ainsi la capacité de balayer une large gamme de sujets astrophysiques.

L'E-ELT

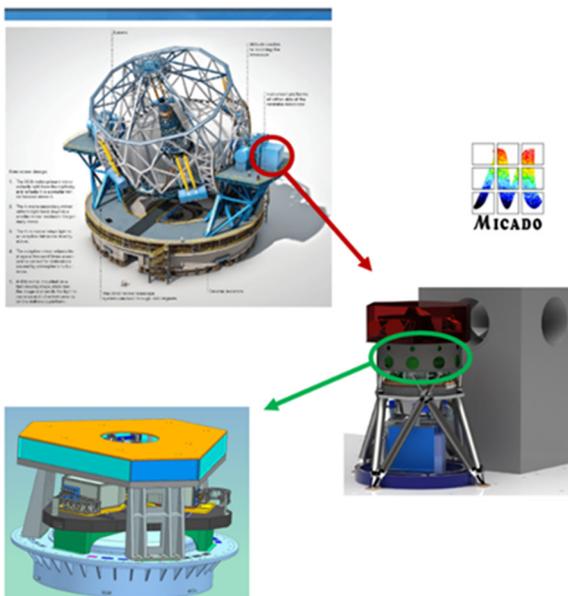


Figure 121 : MICADO dans l'ELT

La conception de MICADO est optimisée pour un fonctionnement avec une correction d'optique adaptative (OA) de type multi-conjuguée, qui sera fournie par le module MAORY. Cependant, l'instrument bénéficiera aussi d'un mode d'OA additionnel de type Single Conjugated Adaptive Optics (SCAO) développé par le consortium MICADO.

La participation française à MICADO est une chance unique d'accéder aux premières observations de l'ELT. Nous avons la responsabilité de cas scientifiques majeurs pour nos laboratoires, les exoplanètes et les objets du système solaire, et travaillons par ailleurs à la préparation de nombreux autres sujets scientifiques comme le Centre Galactique, les noyaux actifs de galaxies, la formation et l'évolution des galaxies. Le LESIA, avec le soutien du GEPI, de l'Observatoire de Besançon, de la DT INSU et de l'IPAG, a la responsabilité du module SCAO et du mode haut contraste de MICADO.

2.35.2. Description technique

Pour le développement du module SCAO de MICADO, le LESIA est notamment en charge des activités de conception, de réalisation et d'intégration opto-mécanique de plusieurs modules : l'analyseur de front d'onde, l'unité de calibration, leur banc support, ainsi que des différents bancs de tests. Le LESIA organisera ensuite l'intégration complète du module en France ainsi que sa livraison en Allemagne puis au Chili.

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. Ce sous-ensemble, positionné à l'entrée de l'analyseur de front d'onde, est constitué de deux miroirs parallèles qui renvoient vers les éléments optiques de l'analyseur un faisceau pointant sur une zone précise du champ. L'appareil offre deux rotations et un focus précis pour le pointage des miroirs.

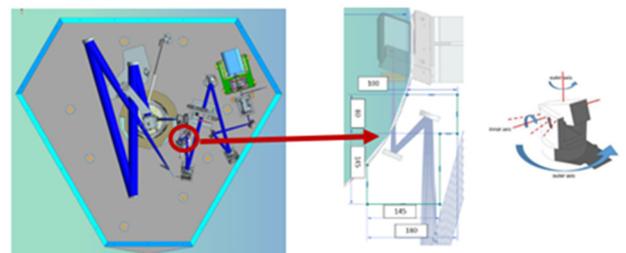


Figure 122 : Le sélecteur de champ dans MICADO

2.35.3. Activités de la DT

La DT-INSU réalise un travail sur la conception mécanique du sélecteur de champ. Nous avons adopté pour ce sous-système un développement de

type proto-flight, où la conception est affinée en fonction du résultat d'un prototype à échelle finale. Après avoir proposé un concept pour la phase B, la DT-INSU travaille à la conception de détail de ce sélecteur de champ, avec la documentation associée pour la revue de la phase C d'ici fin 2020, tout en participant aux tests du modèle proto-flight en cours d'approvisionnement.

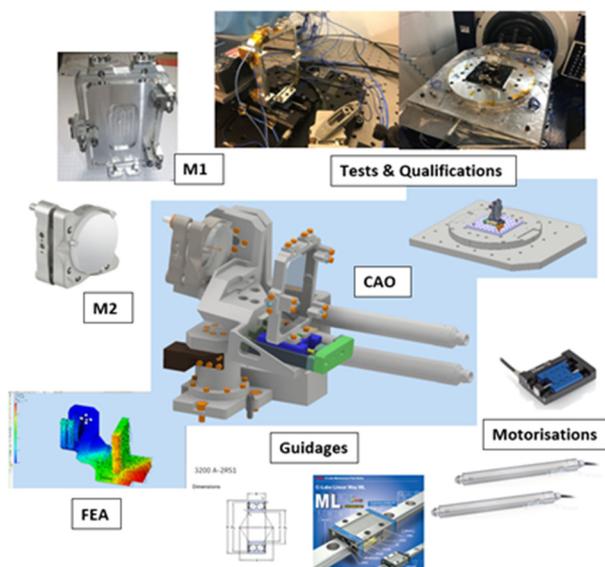


Figure 123 : Sélecteur de champ, état d'avancement fin 2019

Parallèlement au travail de conception, la DT-INSU apporte depuis mi 2019 un renfort en ingénierie système avec, à court terme, la rédaction d'un CCTP marché pour deux sous-systèmes de la SCAO : le système de modulation de l'analyseur de surface d'onde et les optiques du module d'AIT de l'unité de calibration.

2.35.4. Perspectives

Sur le long terme, la contribution en ingénierie système de la DT-INSU portera plus particulièrement sur les interfaces du module SCAO de MICADO, que ce soit en mécanique, optique, électronique, contrôle commande et informatique temps réel. Sont concernées aussi bien les interfaces internes entre chaque sous-système (analyseur de surface d'onde, unité de calibration, calculateur temps-réel) que les interfaces externes (avec le reste de l'instrument MICADO, avec MAORY, et avec le télescope).

Une participation de la DT-INSU pour la conception mécanique d'autres sous-ensembles de l'analyseur de front d'onde, ainsi que pour les outillages d'intégration et de test (à partir de 2021) est également demandée par le LESIA sur ce projet.

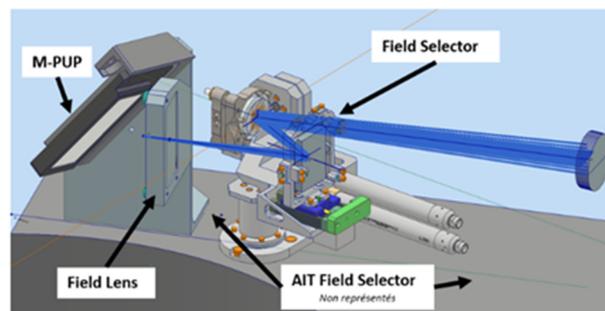


Figure 124 : Autres éléments pouvant être réalisés par la DT

Personnel DT impliqué :

Johann Gironnet (à partir de mi-2019), gestion ingénierie système.

Alexandre Blin (à partir de mi-2018), bureau d'étude mécanique.

Contacts :

johann.gironnet@cnrs.fr

alexandre.blin@cnrs.fr

Publication :

Clénet Y., Buey T., Gendron E., et al. 2019, Proceedings of the AO4ELT6 conference, « MICADO-MAORY SCAO: Preliminary design, development plan and calibration strategies »

<http://ao4elt6.copl.ulaval.ca/proceedings/401-Hr9n-251.pdf>

2.36. MOMA-GC

Laboratoire demandeur : LISA.

Chercheur responsable : François Raulin.

PI : Noël Grand.

2.36.1. Objectifs scientifiques

Le rover ExoMars, baptisé Rosalind Franklin, est un projet de rover de l'ESA déployé sur Mars, avec à son bord l'ensemble instrumental Pasteur. Il doit être lancé en 2020 par une fusée russe Proton.

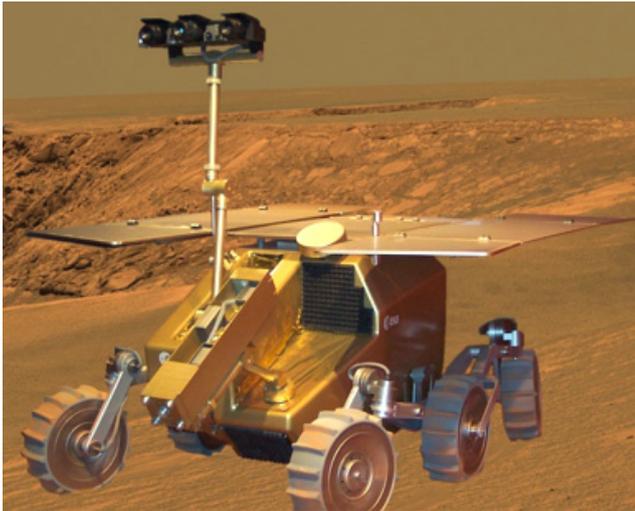


Figure 125 : Vue d'artiste du rover ExoMars

L'instrument MOMA (Mars Organic Molecule Analyser) est l'un des instruments de Pasteur, alimenté par le système de prélèvement d'échantillon du rover. MOMA-GC (Gas Chromatograph) est un sous-ensemble de MOMA, un chromatographe en phase gazeuse, pouvant opérer individuellement ou en couplage avec un spectromètre de masse.

La mission martienne a pour objectif de rechercher des matériaux organiques et des traces de vie, présentes ou passées. Dans ce contexte, MOMA a pour objectif d'analyser la matière organique et inorganique à la surface et en sous-sol, étudier l'évolution de cette matière en fonction des conditions de l'environnement (oxydation, etc) et de déterminer le rapport possible entre cette matière et une éventuelle activité biologique et /ou prébiotique.

2.36.2. Description technique

Pour répondre aux objectifs scientifiques, MOMA-GC est composé de 4 voies analytiques, chacune dédiée à la séparation d'une gamme précise de composés potentiellement présents dans les échantillons analysés. Ces 4 voies incluent chacune une colonne chromatographique (tube capillaire) et un dispositif permettant de les maintenir à température stable entre l'ambient (environ -30°C) et 250°C.

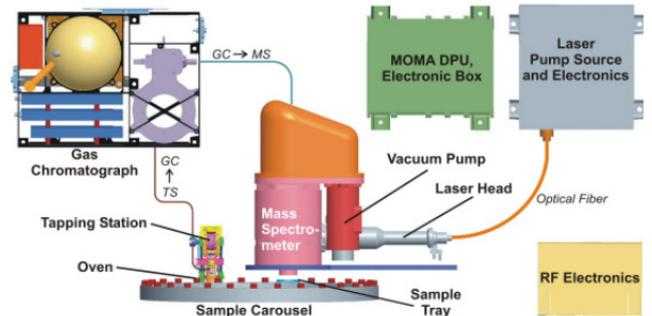


Figure 126 : L'ensemble MOMA

La colonne est le lieu de la séparation des espèces chimiques analysées. La paroi interne des tubes est recouverte d'une substance active qui possède une affinité spécifique à chaque espèce chimique. Les 4 voies analytiques sont équipées d'un détecteur à conductibilité thermique (TCD) qui mesure la différence de capacité des gaz qui sortent de la colonne à conduire la chaleur, comparativement au gaz vecteur. Le gaz vecteur est un gaz inerte (ici l'hélium) qui est injecté dans la colonne chromatographique à vitesse constante et qui entraîne avec lui l'échantillon gazeux. Lorsqu'un composé sort de la colonne, il est mélangé au gaz vecteur, ce qui modifie la conductibilité thermique du gaz, et c'est cette variation qui est détectée.

2.36.3. Activités de la DT

De 2015 à fin 2019, après avoir validé auprès de l'ESA la faisabilité du MOMA-GC, nous avons réalisé le QM (Qualification Model) avec tous ses sous-ensembles : colonnes, réservoir d'hélium, plaque de vanes, pièges, etc. Le QM a été validé par des tests vibratoires et thermiques.

Les activités ont également porté sur la réalisation du FM (Flight Model) ainsi que du GSE (Ground Support Equipment) et d'un support pour les tests EMI (interférences électromagnétiques). L'intégration, les tests en vibration et les EMC (compatibilités électromagnétiques) ont été validés. MOMA est prêt pour la mission ExoMars.

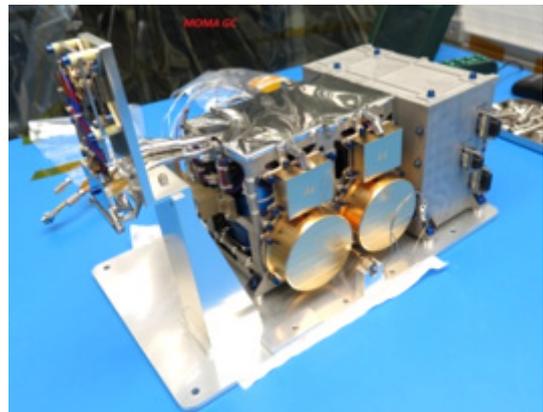


Figure 127 : MOMA-GC Flight Model



Figure 128 : MOMA-GC dans la chambre martienne du Goddard Space Flight Center (USA)

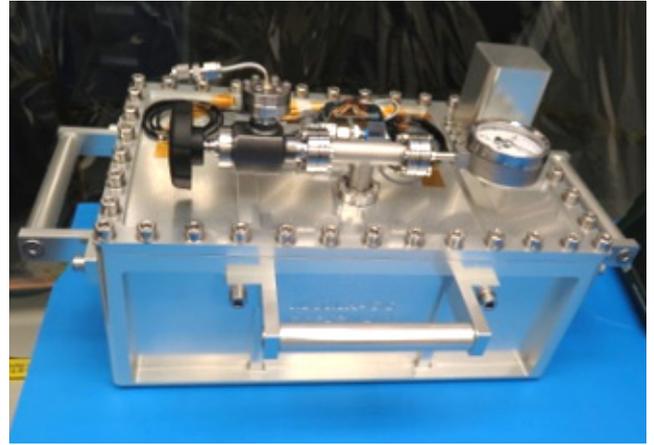


Figure 131 : GSE de transport de MOMA-GC FM

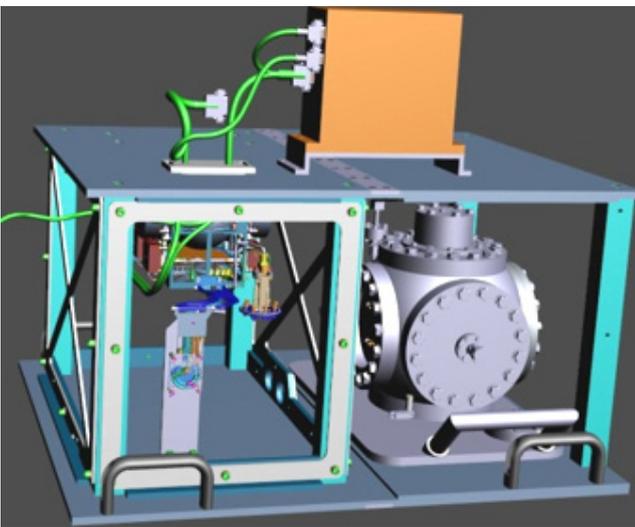


Figure 129 : Vue de concept pour les tests EMI

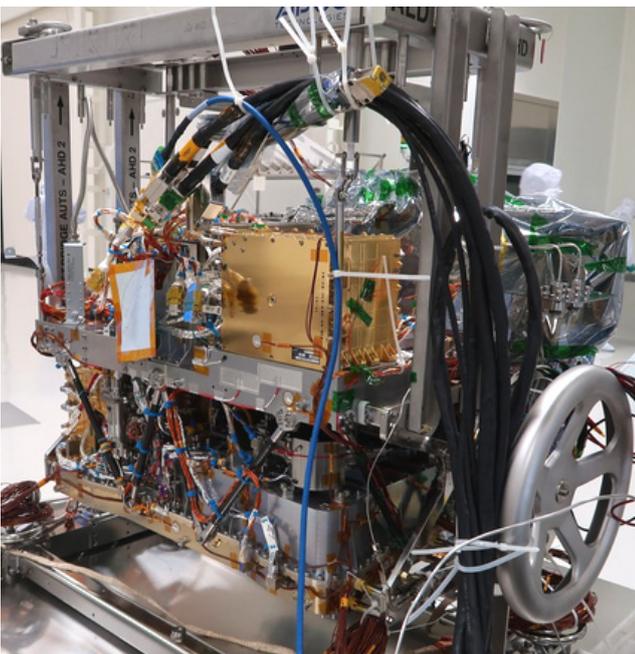


Figure 130 : Intégration de MOMA sur l'ALD (Analytical Laboratory Drawer) chez TAS en Italie. © Thales Alenia Space

Personnel DT impliqué :

Thierry Lesourd.

Benoit Lemaire.

Contact :

thierry.lesourd@cnsr.fr

benoit.lemaire@cnsr.fr

2.37. MSE

Laboratoire demandeur : Observatoire de Paris-GEPI.

Demandeur : Shan Mignot.

2.37.1. Objectifs scientifiques

Le projet **Maunakea Spectroscopic Explorer** (MSE) vise à transformer le télescope Canada-France-Hawaii (CFHT) en un complexe destiné à la spectroscopie profonde, grand champs, multi-objets et multi-résolutions. Un tel équipement sera à même de réaliser de très grands relevés : l'observation spectroscopique de millions d'étoiles et de galaxies permettra d'accéder à la chimie et à la dynamique de l'univers local et lointain. Cela va s'avérer essentiels en soi et en complément des relevés en cours (Gaia, eRosita, LOFAR) ou à venir (Euclid, WFIRST, SKA) en imagerie et en astrométrie. Cela permettra aussi de sélectionner des cibles pour des observations ultra-profondes sur de très petits champs permises par l'ELT ou le TMT.

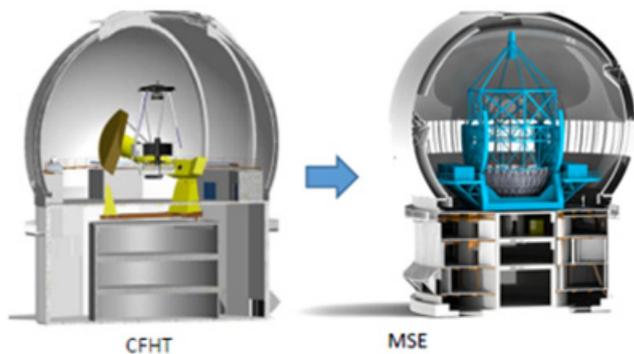


Figure 132 : Transformation de CFHT en MSE

2.37.2. Description technique

Il s'agit de remplacer le télescope actuel (3,6 m) et sa monture équatoriale par un télescope de 11 m d'ouverture à monture altazimutale. La monture existante, par ses dimensions et son poids, permet cette opération sans modification significative du volume du bâtiment ni du pilier. Il sera cependant nécessaire de remplacer la coupole pour offrir au nouveau télescope une ouverture compatible avec la taille de son miroir primaire.

Ce télescope sera doté d'une instrumentation spectroscopique permettant d'observer simultanément plusieurs milliers d'objets. Pour cela, son plan focal sera équipé d'un positionneur capable de placer très précisément 4330 fibres optiques sur les cibles scientifiques pour qu'elles puissent en transporter la lumière vers un ensemble de spectrographes dédiés.

2.37.3. Activités de la DT

A partir de 2016, La Division Technique de l'INSU est impliquée dans la conception de l'environnement mécanique du foyer primaire (TEA : Top End Assembly), une structure d'environ 2 m de diamètre, 4,5 m de hauteur, et de plus de 3000 kg. L'étude du TEA est composée de 3 sous-ensembles :

- Le sous-ensemble WFC-ADC (Wide Field Corrector and Atmospheric Dispersion Corrector). Il s'agit de concevoir un barillet supportant les 5 lentilles du correcteur, la plus grande ayant un diamètre de 1,3 m. Les lentilles sont logées dans des cellules réglables. Les déformations thermiques et mécaniques doivent être minimisées. Le barillet comporte également un système permettant le mouvement précis d'une des lentilles par rapport aux autres pour corriger la dispersion atmosphérique.
- Le sous-ensemble PFHS (Prime Focus Hexapod System), un hexapode assurant la correction de positionnement du système d'optique (correction de l'erreur de position due aux déformations de la structure porteuse). Il s'agit de concevoir un système à 6 degrés de liberté de type hexapode.
- Le sous-ensemble InRo (Instrument Rotator), un dérotateur permettant la rotation du positionneur de fibres de façon à compenser la rotation du champ. Il s'agit de concevoir un système de rotation (motorisation, capteur, freinage, guidage...) d'une grande précision.

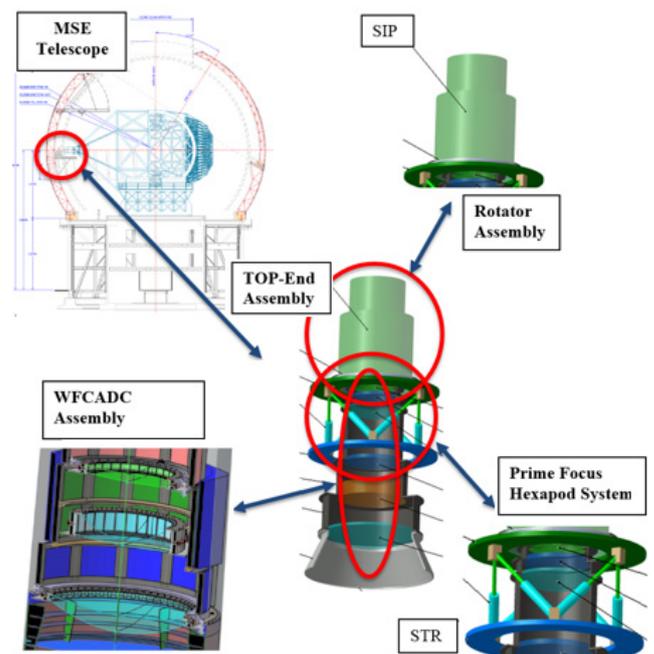


Figure 133 : Zoom sur les sous-structures du foyer primaire

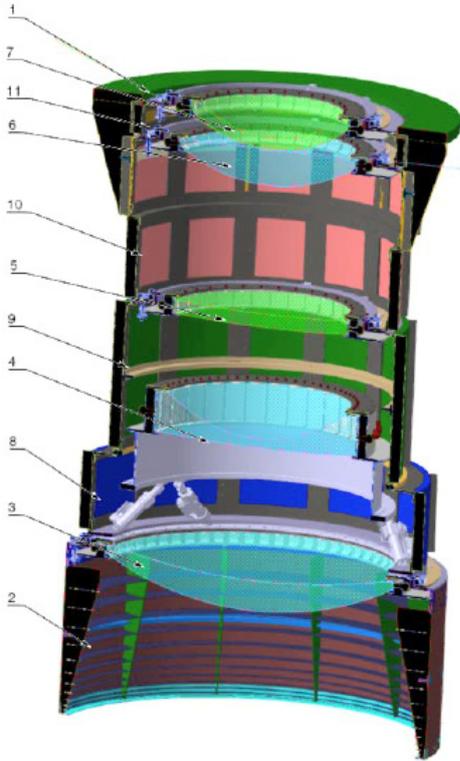


Figure 134 : Coupe du design opto-mécanique du WFC-ADC

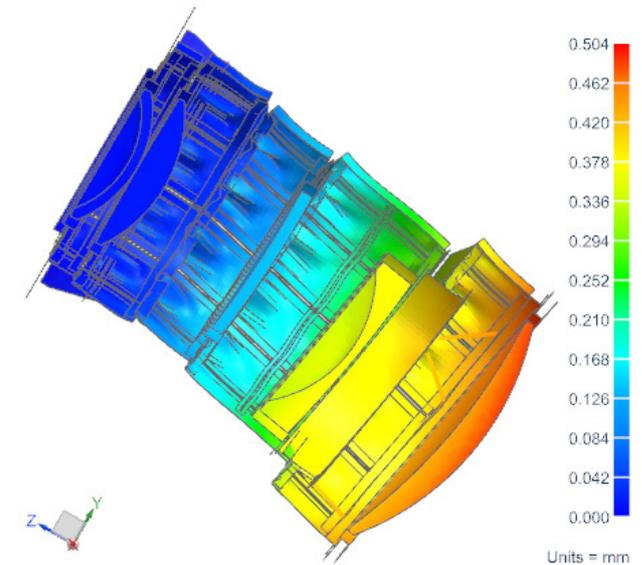


Figure 138 : Exemple de déplacement calculé de la structure WFC-ADC à 60° d'inclinaison

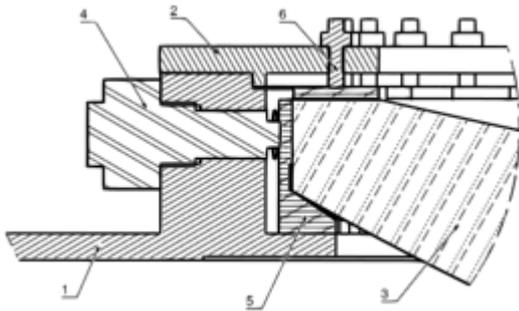


Figure 135 : Montage d'une lentille dans sa cellule

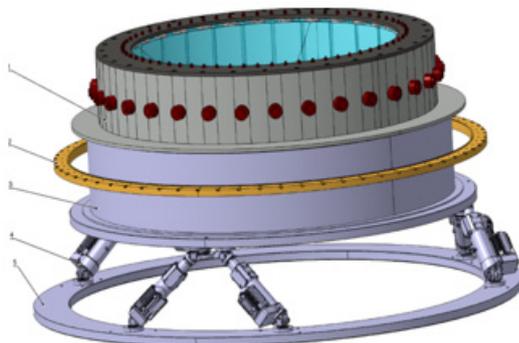


Figure 136 : Design du mécanisme d'orientation de la lentille L2

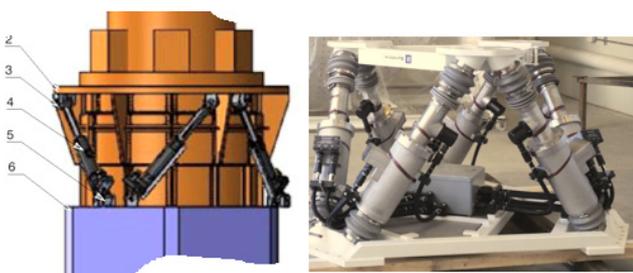


Figure 137 : Architecture proposée pour le PFHS (hexapode de la société Symétrie)

Des simulations éléments finis permettent d'estimer les déformations et les contraintes subies par le WFC-ADC sous l'effet de la gravité et sous divers angles d'inclinaison, en tenant compte des masses fixées à son sommet (modules InRo et Science Instrument Package).

2.37.4. Perspectives

La revue de design (Conceptual Design Review) du TEA s'est tenue à la DT-Meudon les 12 et 13 juin 2017. Le comité de revue a examiné le travail réalisé par la DT sur les 3 sous-ensembles et a conclu que des développements plus poussés étaient nécessaires.

Mais le soutien de la DT-INSU sur le projet MSE n'a pas été reconduit à partir de 2018.

Personnel DT impliqué :

Alexandre Blin, conception mécanique.

Nicolas Geyskens, conception mécanique.

Guillaume Lorgeoux, conception mécanique.

Christophe Berthod, modélisation, calculs de structure.

Contact :

alexandre.blin@cnsr.fr

2.38. NéoNarval

Etablissement demandeur : Observatoire Midi-Pyrénées.

Demandeur : Jean-Baptiste Daban.

2.38.1. Objectifs scientifiques

NéoNarval est un projet de transformation du spectropolarimètre Narval qui est l'unique instrument du Télescope Bernard Lyot (TBL) au Pic du Midi. NéoNarval vise à améliorer grandement la stabilité des observations spectropolarimétriques afin de réaliser des mesures de vitesse radiale d'étoiles avec une sensibilité de 2m/s, ceci dans le but de détecter et caractériser des exoplanètes.

2.38.2. Description technique

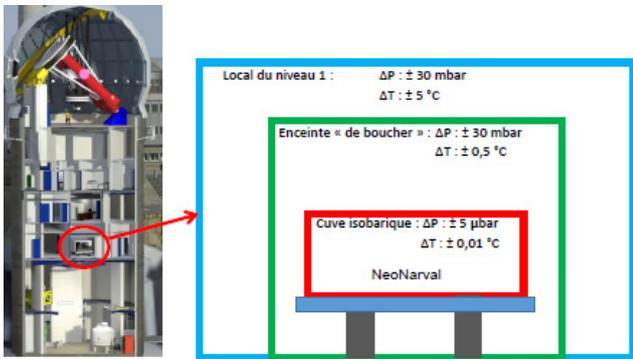


Figure 139 : Schéma de principe de NéoNarval

La stabilisation de l'instrument consiste en une stabilisation de la pression et de la température du milieu traversé par le faisceau optique. Il y a 3 niveaux d'isolation thermique qui sont possibles :

- La température de l'air du local peut varier de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- L'enceinte dite « de boucher » permet de stabiliser la température à $\pm 0,5^\circ\text{C}$.
- L'instrument NéoNarval est finalement enfermé dans sa cuve isobarique.

Le but de l'étude demandée est de déterminer une solution technique (passive et/ou éventuellement active) permettant d'atteindre la stabilité recherchée de température ($\pm 0,01^\circ\text{C}$) à l'intérieur de la cuve isobarique.

2.38.3. Activités de la DT

Dans un premier temps, un modèle éléments finis de la situation initiale a été réalisé en 2016 : enceinte de boucher, caisson Narval, table optique, pieds, et éléments principaux du spectrographe.

Les échanges de chaleur sont définis par conduction, par convection vers les volumes d'air enfermés dans l'enceinte et le caisson, et par rayonnement. Une température variant selon un sinus, d'amplitude $\pm 1,5^\circ\text{C}$,

est imposée sur les parois extérieures de l'enceinte de boucher. Les résultats obtenus pour la table optique sont conformes aux oscillations observées.

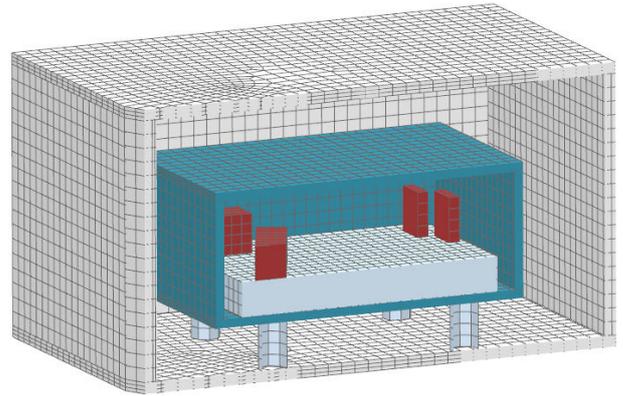


Figure 140 : Modèle éléments finis de l'état initial de Narval

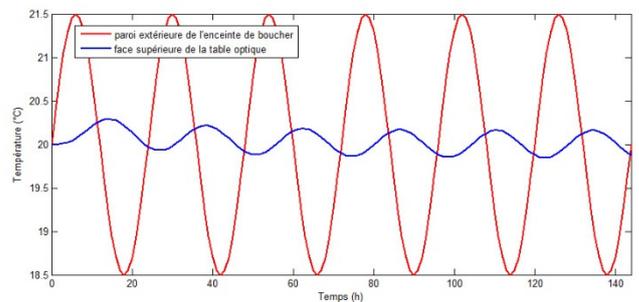


Figure 141 : Simulation de température variant selon un sinus

L'étape suivante était de réaliser une modélisation incluant une nouvelle enceinte intercalée entre l'enceinte de boucher et le caisson Narval, afin de comparer l'état avant et après.

Mais l'OMP n'a pas donné suite à cette étude, et la solution présentée à la PDR de NéoNarval en juin 2016 était basée sur les calculs thermiques d'un étudiant-ingénieur.

Personnel DT impliqué :

Christophe Berthod, modélisation, calculs thermiques.

Contact :

christophe.berthod@cnsr.fr

2.39. NGED

Naming GED

Laboratoire demandeur : Direction de l'INSU.

Demandeur : Pierre Kern (DAT INSU).

2.39.1. Objectifs scientifiques

Pour éviter que chaque laboratoire de l'INSU ne mette en place son outil de Gestion Électronique de Documents (GED), la Direction de l'INSU s'est rapprochée de l'IN2P3 qui disposait de la GED ATRIUM au Centre de Calcul de l'IN2P3. Cet outil a alors aussi été ouvert pour l'INSU. Les laboratoires INSU menant des projets instrumentaux sol ou spatial d'envergure ont identifié une fonctionnalité absente de l'outil, à savoir la possibilité d'un nommage des documents configurable selon la codification imposée par l'agence (ESO, ESA, CNES, ...).

Il a donc été demandé à la DT de développer une telle application.

2.39.2. Description technique

Un document de spécifications a été rédigé par Arlette Pecontal, ingénieure du CRAL. Puis il a été approuvé par le réseau des qualitiens de l'INSU.

L'application développée est une application web utilisant le framework Django et elle utilise les mécanismes de la Fédération d'identité pour s'identifier.

Quentin Conil et Elodie Godinho ont élaboré le modèle de données. Quentin Conil a par la suite développé l'application en se basant sur une méthodologie Agile. Les tests fonctionnels ont été réalisés par une équipe de qualitiens qui nous a fait remonter les corrections et les améliorations. Karim Bernardet a mis l'application en production à la DT.

2.39.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

2018 – 2019 : développement de l'application et tests.

2019 – 2020 : mise en production à la DT et six mois de suivi pilote en lien avec les utilisateurs des premières entités INSU déployées.

2.39.4. Perspectives

2020 : déploiement de l'application au Centre de Calcul de l'IN2P3.



Figure 142 : Page d'accueil de l'application NamingGED



Figure 143 : Enregistrement d'un document dans NamingGED

Personnel DT impliqué :

Quentin Conil (apprenti ingénieur 2017-2020).

Karim Bernardet.

Elodie Godinho.

Contact :

karim.bernardet@cnsr.fr

2.40. NIVMER

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

Laboratoire demandeur : LEGOS UMR5566.

Chercheur : Laurent Testut.

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

2.40.1. 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 S.O (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 Circum-polaire Antarctique (CCA).
- Transmission en temps réel de données pour le réseau de prévention des tsunamis.

2.40.2. Description technique

C'est un réseau de marégraphes associés à des récepteurs 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 :

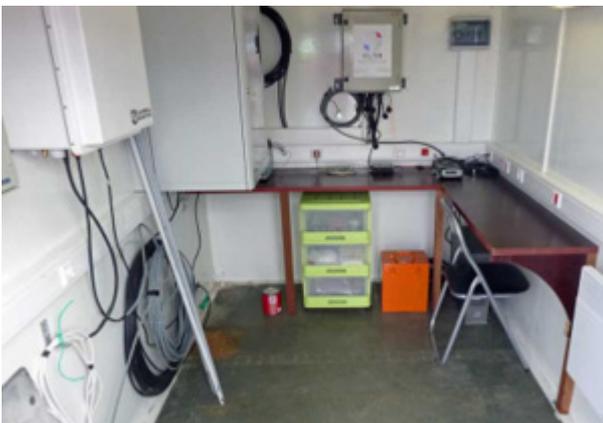


Figure 144 : Station marégraphique dans le shelter de Kerguelen

- Des centrales marégraphiques côtières (centrales 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 côtiers.
- Des bouées GNSS pour le rattachement absolu des marégraphes.
- Des stations de base GNSS à terre pour une mesure différentielle et centimétrique des bouées (post traitement).



Figure 145 : Micro-bouée GPS à l'eau

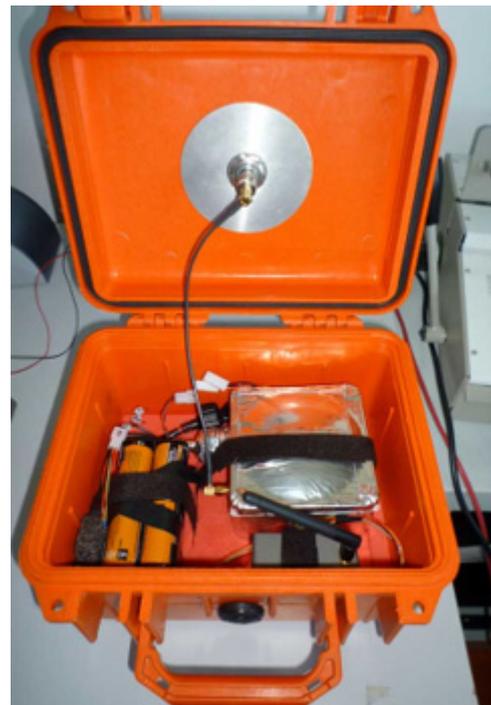


Figure 146 : Intérieur de la micro-bouée GPS

2.40.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

- Marégraphe Nouvelle Génération (voir fiche R&D).
- Bouées GNSS (voir projet FOAM).
- Campagnes dans les îles subantarctiques (2014, 2016, 2018).
- Campagnes en Antarctique (2014, 2016, 2017, 2019).

- Doublement des stations marégraphiques de Kerguelen (2016) et Saint-Paul (2018) : mesure du tirant d'air avec un radar.



Figure 147 : Radar et tube marégraphique à Kerguelen



Figure 148 : Radar sur l'île Saint-Paul

2.40.4. Perspectives

- Prochaine mission : Antarctique en 2020 afin de doubler la station marégraphique avec un marégraphe autonome.
- Le marégraphe Nouvelle Génération hauturier sera équipé de la fonction houlographe.
- Mesure du niveau de la mer par réflectométrie GNSS.
- Amélioration pour une meilleure tenue dans les vagues de la micro-bouée GNSS.

Posters :

- 2019 : Journées REFMAR à Paris.
- 2018 : Meeting GLOSS à Moscou.
- 2017 : Journées JDEV à Marseille.
- 2016 : Journées REFMAR à Paris.

- 2015 : Colloque G2 à Toulouse, meeting OSTST à Reston, colloque GLOSS à Goa.

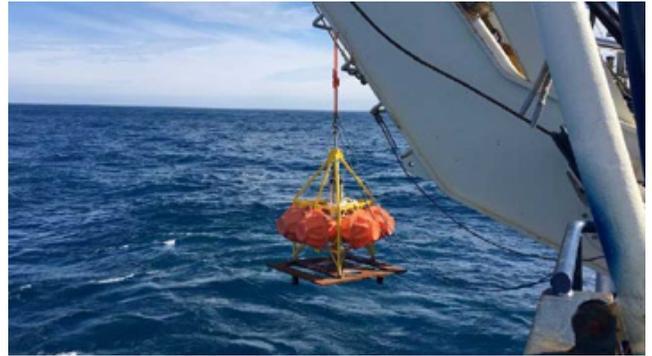


Figure 149 : Mise à l'eau d'un mouillage à Kerguelen

Personnel DT impliqué :

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

Contact :

antoine.guillot@cnsr.fr

2.41. PAMELI

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

Laboratoire demandeur : LIENSs.

Chercheur : Valérie Ballu.

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

2.41.1. 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.

2.41.2. 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 150 : 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.

2.41.3. Activités, campagnes, déploiement 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 151 : Installation du Mini-Cyclopée sur PAMELI

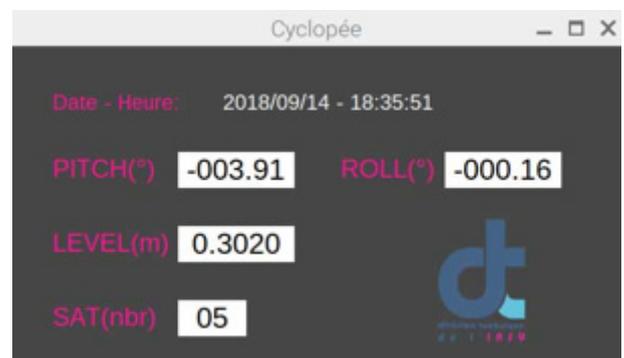


Figure 152 : IHM de Mini Cyclopée

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.

L'ensemble 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.

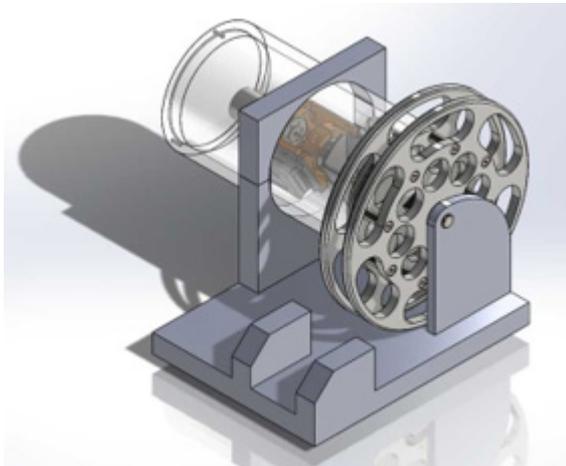


Figure 153 : Aperçu 3D du treuil

Préleveur (2018-2020) :

Il s'agit de pouvoir prélever jusqu'à 5 échantillons d'eau de mer de subsurface 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. Des sécurités sont prévues pour détecter et afficher les anomalies ainsi que la présence d'eau au fond du drone.



Figure 154 : Intérieur du préleveur



Figure 155 : IHM du préleveur

2.41.4. Perspectives

- 12/2019 : intégration du préleveur prototype.
- 03/2020 : intégration du treuil et du portique.
- 2020 : IHM treuil, finalisation du préleveur.



Figure 156 : Mini-Cyclopee en mesure sur des traces satellites altimétriques devant Fort Boyard

Posters :

- 2017 : Colloque Défi-Instrum à Paris, OSTST à Miami.
- 2018 : Journées nationales du génie côtier - génie civil à La Rochelle.
- 2019 : Ateliers AEI à Lille, Colloque Risques côtiers à La Rochelle.

Personnel DT impliqué :

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

Contact :

antoine.guillot@cnsr.fr

2.42. PEGASUS

Laboratoire demandeur : LISA.

Demandeur : Karine Desboeufs.

2.42.1. Objectifs scientifiques

La compréhension des grands cycles biogéochimiques, l'étude des changements climatiques et la quantification des problèmes de qualité de l'air imposent de valider les modèles numériques par des observations irréfutables, et nécessitent donc l'installation de stations de mesure s'appuyant sur une technologie de plus en plus évoluée. Dans cet objectif, le LISA a développé la plateforme mobile PEGASUS (Portable Gas and Aerosol Sampling Units).

Dans le cadre de la prospective MISTRALS, le projet PEAcEtIME (ProcEss studies at the Air-sEa Interface after dust deposition in MEditerranean sea) a été classé prioritaire dans les programmes ChArMEx et MERMEx. Ce projet, nécessitant le déploiement de PEGASUS, a été centré sur une campagne en mer Méditerranée en mai 2017 sur le navire océanographique « Pourquoi pas ? ».

2.42.2. Description technique

La plateforme PEGASUS est aménagée dans un conteneur métallique de 20 pieds de long et intègre un ensemble d'instruments pour mesurer, in situ, les concentrations et les propriétés physico-chimiques des gaz et des aérosols. Décidée dès 2009, la construction et l'aménagement de PEGASUS ont été réalisés avec un fort soutien de la DT-INSU qui a pris en charge la conception des interfaces mécaniques des veines de prélèvement, l'étude des écoulements, la conception des baies instrumentées intérieures, etc.



Figure 157 : Le conteneur observatoire de PEGASUS (photo LISA)

Avec PEAcEtIME, le déploiement de PEGASUS pour des mesures en continu sur un bateau constitue une première. Même si la station mobile a été prévue pour fonctionner en environnements extrêmes, notamment chaud et aride, il n'avait pas été envisagé au moment de sa conception de la mettre en œuvre à bord d'un bateau de recherche. Afin de l'adapter aux opérations en bateau, une nouvelle demande de soutien de la DT, adressée en 2016, visait à aborder les tâches suivantes :

- Calcul des écoulements autour des veines de prélèvement au cours des opérations bateau : l'objectif est d'effectuer des simulations d'écoulement d'air autour du conteneur en intégrant la structure du navire, permettant ainsi de mieux connaître les perturbations induites par le navire, en terme de vitesse et de direction du vent, jusqu'aux veines de prélèvement.
- Ancrage des veines de prélèvement sur le conteneur : l'ancrage des veines sur le toit est effectué par des plaques fixées sur la face extérieure et par des gaines circulaires, puis les veines sont élinguées au toit ; en fonction de la solidité de ces ancrages et de leur adaptation aux contraintes des opérations bateau, il est peut-être nécessaire de réaliser de nouveaux ancrages.

2.42.3. Activités de la DT

Calculs des écoulements d'air

Le Pourquoi pas ? est un navire de 107 m de long. Il possède 10 ponts, mais la plus haute zone accessible pour fixer l'observatoire PEGASUS et assez éloignée des cheminées est la mezzanine du pont 7 côté tribord. Deux emplacements y sont disponibles pour poser le conteneur : soit sur la place avant, soit sur la place arrière.



Figure 158 : Vue synthétique du Pourquoi pas ?

Pour résoudre le problème de mécanique des fluides, on a choisi de créer une forme géométrique simplifiée du navire, avec seulement la moitié tribord.

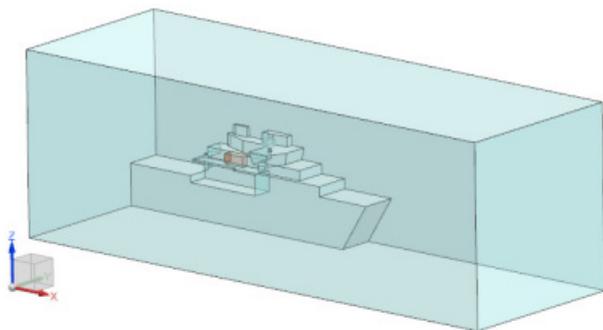


Figure 159 : Vue du domaine de calcul du fluide

Le domaine de calcul a été très densément maillé sur les surfaces des ponts et de la coque.

Plusieurs cas ont été considérés : les deux positions possibles du conteneur, ainsi que plusieurs directions de vent (de face, de tribord, à 45°).

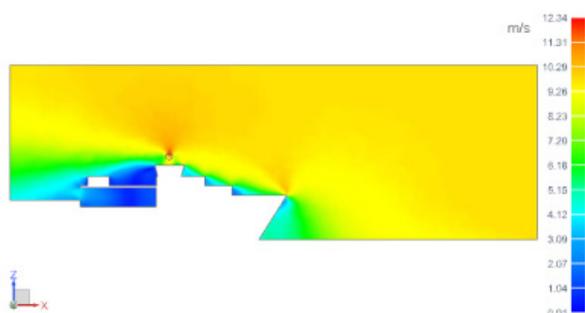


Figure 160 : Champ de vitesse calculé en coupe, dans le cas du vent de face et du conteneur en place arrière

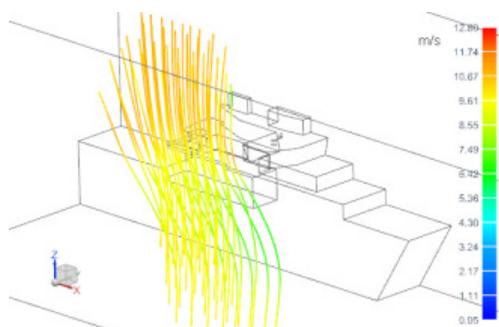


Figure 161 : Lignes d'écoulement calculées pour le vent à 45°

Les résultats des simulations ont été clairs : les ponts et la passerelle du navire perturbent fortement l'écoulement incident. Les composantes de vitesse du vent à l'entrée des veines de prélèvement sont bien différentes de ce qu'on obtiendrait en terrain plat dégagé, la captation des particules en est donc modifiée. Toutefois, on a pu démontrer que la place arrière du pont 7 est meilleure que la place avant.

Réalisation et montage des ancrages

Des visites au LISA, effectuées en septembre 2016 puis début 2017, ont permis d'évaluer les besoins en matière de fixations et d'haubanages sur le toit du conteneur observatoire. Des pièces (plaques, embases, pieds de tube) ont été dessinées et fabriquées.



Figure 162 : Visite des fixations et ancrages du toit de PEGASUS

Les montages ont été réalisés en avril 2017 avant le départ du conteneur.



Figure 163 : Panoramique sur le toit de PEGASUS lors du montage des tubes et des haubans



Figure 164 : Conteneur PEGASUS installé sur le pont 7 du Pourquoi pas ? pendant la campagne PEAcEtIME (photo LISA)

Publication :

Desboeufs K., Guieu C., « Peacetime : une campagne inédite associant physico-chimistes de l'atmosphère et biogéochimistes marins », La Météorologie, 2018. DOI : 10.4267/2042/65132.

Personnel DT impliqué :

Nicolas Geyskens, conception mécanique.

Christophe Berthod, simulations fluidiques.

Contact :

nicolas.geyskens@cnr.fr

christophe.berthod@cnr.fr

2.43. PHLAC

Laboratoire demandeur : LMD.

Demandeur : Jessica Pellegrino.

2.43.1. Objectifs scientifiques

L'objectif de PHLAC (2 μm Pulsed Holmium Laser for Atmospheric CO₂ monitoring), projet financé par l'ESA, est de développer un émetteur laser solide pour une utilisation dans le suivi de la concentration atmosphérique du CO₂ depuis l'espace.

2.43.2. Description technique

D'un point de vue thermique, le refroidissement du cristal laser est réalisé à l'aide d'un échangeur en cuivre dans lequel on fait passer une circulation d'eau (tuyaux sur la photo ci-dessous). Mais pour le développement de son application spatiale, une contrainte est imposée : il est nécessaire de supprimer la circulation d'eau au niveau du laser et de la déplacer en dehors d'une zone interdite (traits rouges). Un nouveau support du cristal laser doit être proposé pour déporter le refroidissement.

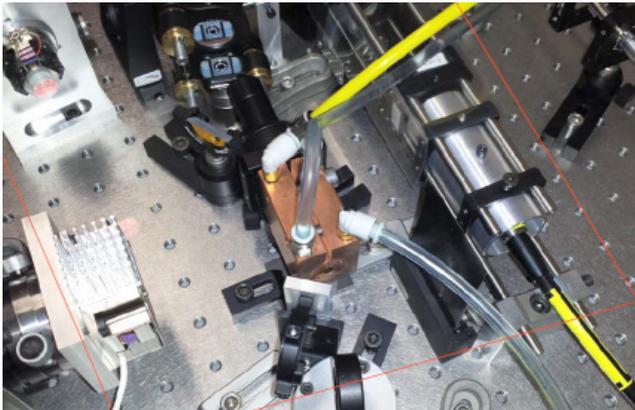


Figure 165 : Montage initial de l'échangeur thermique avec le circuit d'eau

2.43.3. Activités de la DT

Cette étude thermique a été réalisée en 2016.

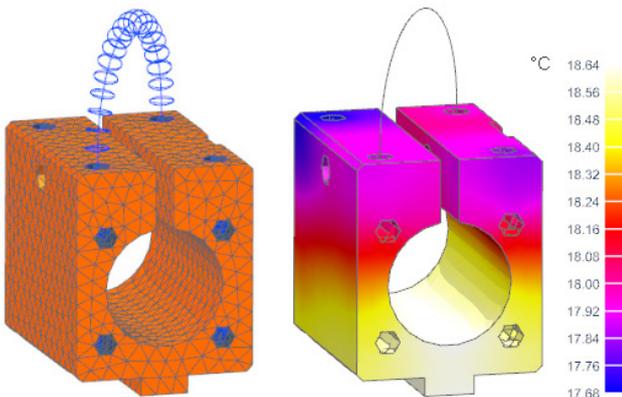


Figure 166 : Refroidisseur initial, maillage éléments finis et températures calculées pour 10 W dissipée par le laser

Dans un premier temps, le refroidisseur initial (celui du montage sur la table optique) a été simulé. Tous les types de transfert de chaleur sont activés : conduction dans la pièce en cuivre, échanges avec les conduites de l'eau qui entre à 17°C, rayonnement et convection vers l'environnement ambiant à 19°C.

Dans un second temps, on a effectué l'analyse de plusieurs nouveaux montages incluant un refroidisseur déporté.



Figure 167 : Proposition de montage déporté avec circulation d'eau seulement dans la partie droite



Figure 168 : Températures calculées pour 10 W dissipée avec un refroidisseur déporté en cuivre

On a alors pu démontrer, par calcul, tout l'intérêt qu'il y a à adopter un refroidisseur en cuivre, ou en aluminium à condition d'épaissir la pièce.

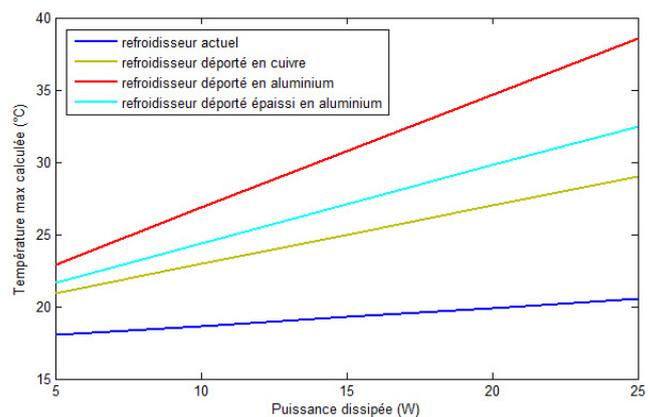


Figure 169 : Comparaison des solutions de refroidissement

Personnel DT impliqué :

Christophe Berthod, calculs thermiques.

Contact :

christophe.berthod@cnr.fr

2.44. Pico-SDLA

Laboratoire demandeur : GSMA.

Chercheur : Georges Durry.

2.44.1. Objectifs scientifiques

Les Spectromètres à Diode Laser Accordables (c'est-à-dire de la 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.

L'étude de la tendance de la vapeur d'eau stratosphérique est un sujet de préoccupation majeur de par l'impact que pourrait avoir une augmentation de la teneur en vapeur d'eau sur l'équilibre radiatif et chimique de la stratosphère et directement 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 sont sujettes à des biais et contaminations difficiles à contrôler.

La mesure de CO₂ et de CH₄ in situ, pour leurs rôles de gaz à effet de serre mais également de traceurs dynamiques atmosphériques, est également extrêmement intéressante pour le monitoring global et la validation satellitaire de missions 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.

Actuellement, notre objectif majeur est la participation de l'instrument Pico-SDLA Bi-Gaz (H₂O/CO₂), développé à la DT-INSU depuis 2015, aux campagnes Stratéole-2 (vols longue durée dans la TTL équatoriale). Un de nos objectifs premiers concerne la campagne de validation de 2018 (décalée en 2019) d'un instrument. L'analyse des résultats de cette première campagne est en cours. Trois instruments supplémentaires par campagne scientifique seront déployés en 2021 et 2024. A cette occasion, les instruments voleront à 2,5 m sous la nacelle Zéphyr à une altitude de 18,5 km pendant près de 3 mois.

En préparation à ces campagnes, nous avons développé et validé ce nouvel instrument lors de plusieurs campagnes ballons du CNES durant les 4 années précédentes. Le but était d'atteindre les objectifs en terme de masse, encombrement, consommation, sans dégrader la qualité des mesures

dans un environnement extrême (alt. 18,5 km, température -70°C/-90°C).

En parallèle, grâce à un travail de miniaturisation de l'hygromètre Pico-SDLA H₂O, un second objectif a été de développer un hygromètre opérable sous ballon sonde (masse nacelle scientifique inférieure à 3 kg) qui soit mis à disposition de la communauté scientifique via le Transnational Access. Un objectif à court terme consiste à étalonner cet hygromètre face à des standards du système international en collaboration avec trois instituts métrologiques nationaux et américains (LNE-Cnam, LNE-CETIAT et NIST, projet à soumettre à l'APR CNES 2021).

2.44.2. Description technique

Le principe de mesure repose sur la propagation d'une onde laser dans le milieu à sonder. La longueur d'onde d'émission est centrée sur une raie d'absorption de la molécule à détecter. Le parcours optique est ouvert à l'atmosphère. Sur ce parcours, une portion de l'énergie lumineuse est absorbée par les molécules visées. Le signal est ensuite détecté par une photodiode. L'ajustement des moindres carrés d'un modèle d'absorption sur la raie mesurée permet de déduire la concentration du gaz.

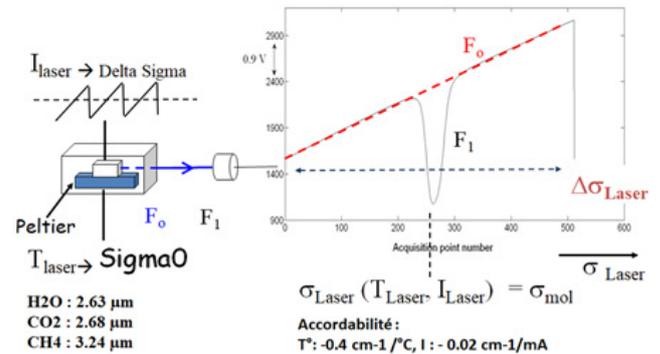


Figure 170 : Principe de fonctionnement

Les paramètres physiques nécessaires à l'ajustement des spectres atmosphériques sont la pression et la température. L'instrument comprend donc également un senseur de pression et plusieurs sondes de température. Il est à noter que la précision de la concentration mesurée est directement proportionnelle à celle de la pression. La mesure précise de ce paramètre est donc d'une grande importance. Pour cette raison, nous utilisons des manomètres parmi les plus précis à des mesures dans l'atmosphère. Un système électronique mixte analogique/numérique est piloté par un microcontrôleur afin de réaliser l'ensemble du séquençage nécessaire à la bonne mesure scientifique. Ces instruments fonctionnent dans des environnements à faible pression (jusqu'à 5 mbar) et

basse température (jusqu'à -85°C) et sont donc équipés de protections thermiques adéquates.

Pico-STRAT Bi-Gaz :

Développé dans le cadre de Stratéole-2, le chantier pour son développement a consisté à revoir tout le système électronique (basé sur les briques des Pico-SDLA), de développer le logiciel embarqué adapté à cette mission et enfin de reprendre la nacelle d'un point de vue mécanique et thermique.

Une des contraintes fortes était d'atteindre un budget de masse inférieure à 5 kg, sachant que pour des raisons de pollution, la partie optique de la nacelle est suspendue à 2,5 m sous la NCU Zéphyr.

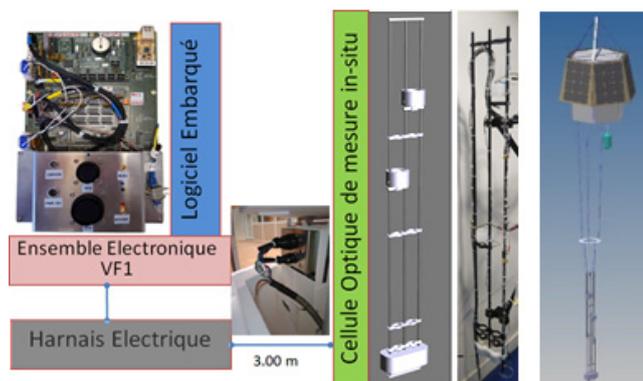


Figure 171 : Structure de Pico-STRAT Bi-Gaz

L'instrument a été développé sur la période 2015-2018, validé sur plusieurs campagnes de mesures ballons du CNES et testé en chambre de simulation SIMEON au CNES. Il a été opéré lors de la campagne de validation de Stratéole-2 à la fin 2019.

Hygromètre Pico-Light H2O :



Figure 172 : L'hygromètre Pico-Light H2O

Le développement de cet instrument a bénéficié des avancées mises en œuvre sur l'instrument Pico-STRAT Bi-Gaz. En effet, l'allègement de l'électronique, l'optimisation de la structure mécanique et thermique, nous ont permis de développer un premier démonstrateur en 2018 pour la campagne StratoSciences 2018 à Timmins (Canada). Ce premier vol test a permis d'aboutir à une version fonctionnelle de l'hygromètre. Depuis lors, 2 vols de cette dernière version ont été réalisés depuis la base de lancement du CNES à Aire-sur-l'Adour (France) les 19 février et 16 octobre 2019.

Cellule optique lightElec		Harnais		Total Pico-light sans piles	
713.74	1371.72		232.11		2317.57
				Avec Piles	
					2737.57

Figure 173 : Bilan de masse de Pico-Light H2O (en grammes)

2.44.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

StratoSciences 2015 (août/sept 2015), Timmins (Canada) :

Pendant cette campagne, deux vols ballons dénommés CLIMAT et Vapeur d'eau ont été réalisés.

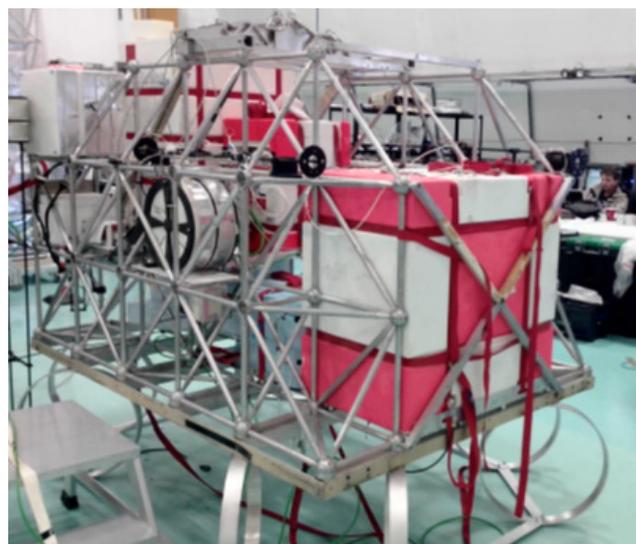


Figure 174 : Nacelle CLIMAT pendant StratoSciences 2015

La nacelle CLIMAT d'une masse de 275 kg emportait un ensemble de 9 instruments pour réaliser des inter-comparaisons instrumentales de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, H₂O) issues de techniques différentes : spectromètres à diode laser (Pico-SDLA et AMULSE), hygromètre à point de givre (SAWfPHY) et échantillonneurs d'air (Aircore).

La prise en compte de l'humidité ambiante permet de corriger la mesure de CO₂ et CH₄ de l'air humide à l'air sec. Cette correction a pu être apportée grâce aux mesures de Pico-SDLA H₂O (suspendu) et SAWfPHY.

Le vol appelé Vapeur d'eau, embarqué sur la nacelle LPMA DOAS, avait pour but d'intercomparer trois hygromètres à bord d'une même nacelle. Malgré la contamination inévitable des mesures effectuées dans cette configuration, l'objectif principal n'étant pas l'obtention exacte d'une mesure absolue de vapeur d'eau, les hygromètres SAWfPHY, Pico-SDLA H₂O et Pico-STRAT H₂O ont échantillonné, durant la descente lente et une phase de plafond intermédiaire, la concentration in situ de vapeur d'eau.

Un plafond de plusieurs heures était demandé entre 18-20 km d'altitude afin de reproduire les conditions de vol de la campagne Stratéole-2. De cette façon, les mesures en mode intermittent enchainant une phase de sommeil suivie d'une phase active de mesure ont été validées. L'objectif secondaire a été de comparer les mesures de Pico-STRAT Bi-Gaz (chaîne H₂O) à celles de SAWfPHY et PicoSDLA-H₂O, deux hygromètres qualifiés.

KASA 2016 (août 2016), Kiruna (Suède) :

La campagne d'été à Kiruna a permis de reproduire le vol CLIMAT, la montée en TRL de la cellule PicoSTRAT qui est désormais Bi-Gaz (H₂O/CO₂).

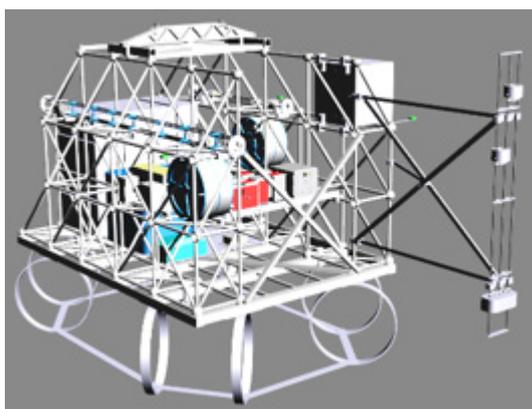


Figure 175 : Nacelle CLIMAT pendant KASA 2016

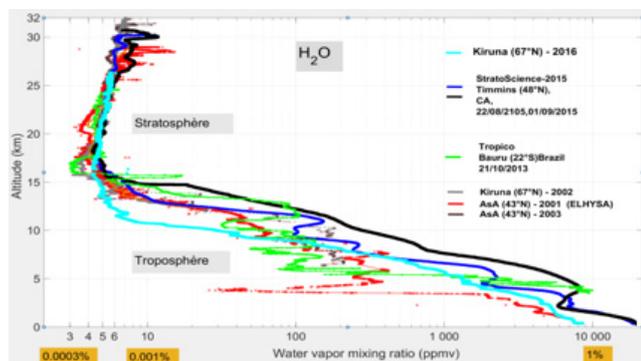


Figure 176 : Profils verticaux de vapeur d'eau obtenus à partir des mesures de Pico-SDLA H₂O suspendu pendant les campagnes StratoSciences 2015 (48°N), KASA 2016 (67°N), TROPico 2012 (22°S) et Aire-sur-l'Adour (AsA, 43°N) pour comparaison

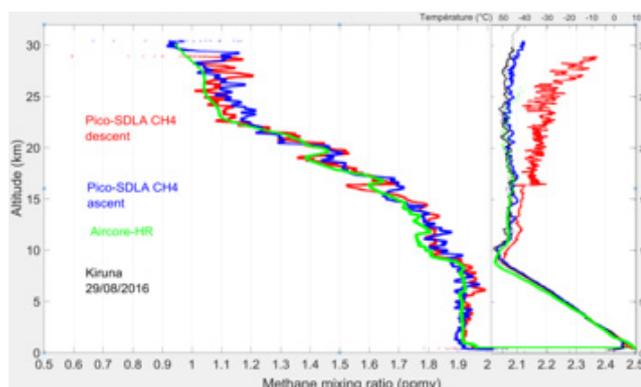


Figure 177 : Intercomparaison des profils de méthane obtenus à partir des mesures de Pico-SDLA CH₄ (bleu, rouge) et de Aircore-HR (vert). On observe un très bon accord entre les deux

instruments, basés sur deux techniques différentes tant en valeur absolue qu'au niveau des structures dynamiques qui sont observées sur les profils

Austral 2017 (mars 2017), Alice Spring (Australie) :

Configuration presque identique à KASA 2016. Le spectromètre Pico-STRAT Bi-Gaz opère une montée en TRL avec l'utilisation pour la première fois du nouveau système électronique consolidé.

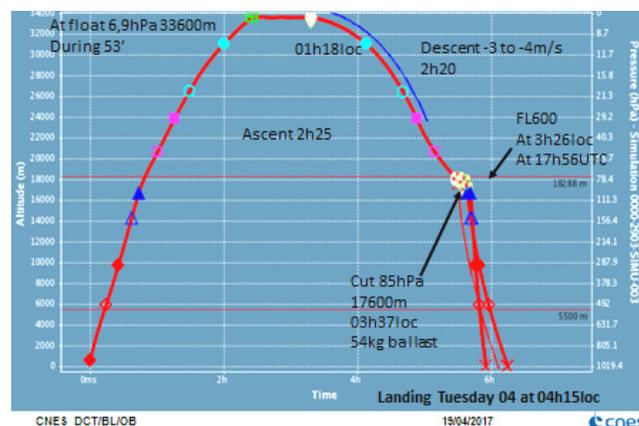


Figure 178 : Profil du vol CLIMAT

StratoSciences 2018 (août 2018), Timmins (Canada) :

Ce vol a permis de valider la version finale de Pico-STRAT Bi-Gaz.



Figure 179 : Photographie de la nacelle CLIMAT juste avant le lancement (11/08/2018, 00:30 UTC). On peut voir l'hygromètre Pico-SDLA H₂O à l'avant plan et la nacelle contenant tous les autres instruments à l'arrière

Le 08/08/2018, Pico-Light H₂O a réalisé son premier vol dans sa version v0 (TRL6) sous ballon de radiosondage.

- TRL 6 : démonstration de la technologie en environnement réel
- TRL 7 : démonstration du système à l'échelle prototype en environnement opérationnel

Figure 180 : L'échelle TRL (Technology Readiness Level)



Figure 181 : Equipe CLIMAT 2018



Figure 182 : Nacelle Pico-Light

Comme on peut l'observer, la cellule optique a été équipée de deux miroirs de renvoi permettant de réduire sa taille. Cependant, cette configuration optique a été abandonnée car trop sensible aux vibrations mécaniques à des niveaux au-dessus de la tropopause.

La nacelle, déclarée perdue après son atterrissage dans les bois canadiens (malgré Iridium et autres constellations satellites), a été retrouvée par un riverain quelques jours plus tard, flottante sur un lac.



Figure 183 : Récupération de la nacelle dans l'eau

Nous avons pu récupérer les données intactes sur la carte micro-SD à bord de l'instrument. La figure ci-

dessous montre les profils verticaux obtenus en montée et descente (noir et bleu), comparés aux mesures troposphériques de la sonde Imet-4 (rouge) à bord. On peut voir une absence de données entre 100 et 20 hPa, liée à l'impossibilité d'exploiter les spectres dans cette région. Nous avons donc amélioré et optimisé l'instrument d'un point de vue optique et logiciel pour les deux vols suivants effectués depuis Aire-sur-l'Adour.

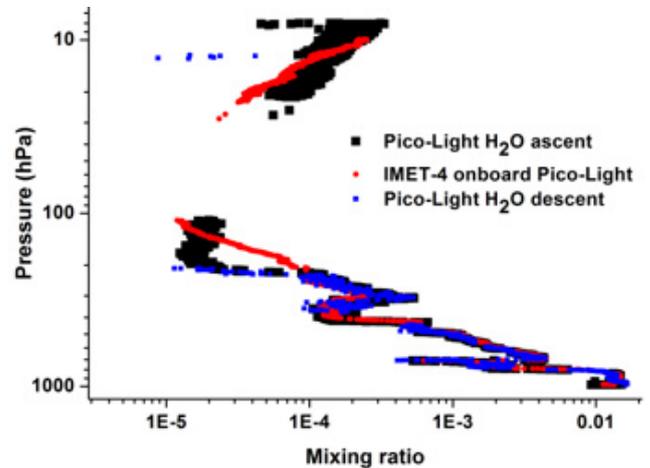


Figure 184 : Profils verticaux de vapeur d'eau issus des mesures de Pico-Light en montée (noir) et descente (bleu) le 08/08/2018 depuis Aire-sur-l'Adour. Pour comparaison, le profil issu des mesures de la sonde Imet-4 à bord est indiqué (rouge) mais n'est valable que dans la basse troposphère.

Vol HEMERA 1 et CNES (02/02/2019 et 16/10/2019), Aire-sur-l'Adour (France) :

Dans le cadre du projet HEMERA-H2020, nous avons pu réaliser 1 vol de l'hygromètre Pico-Light sous ballon de radiosondage depuis Aire-sur-l'Adour le 16/10/2019. Nous avons aussi bénéficié d'un vol CNES le 02/02/2019 dans les mêmes configurations.

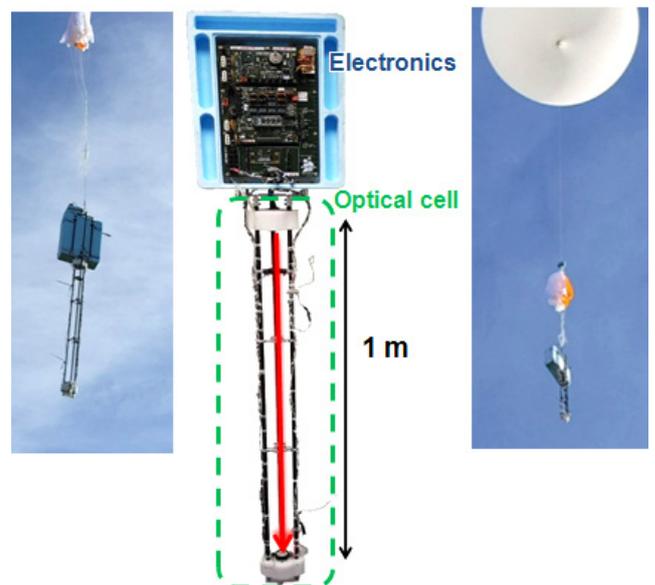


Figure 185 : Photographie de Pico-Light H2O dans sa version définitive (au centre) et lors du lancement du 16/10/2019 (gauche et droite)

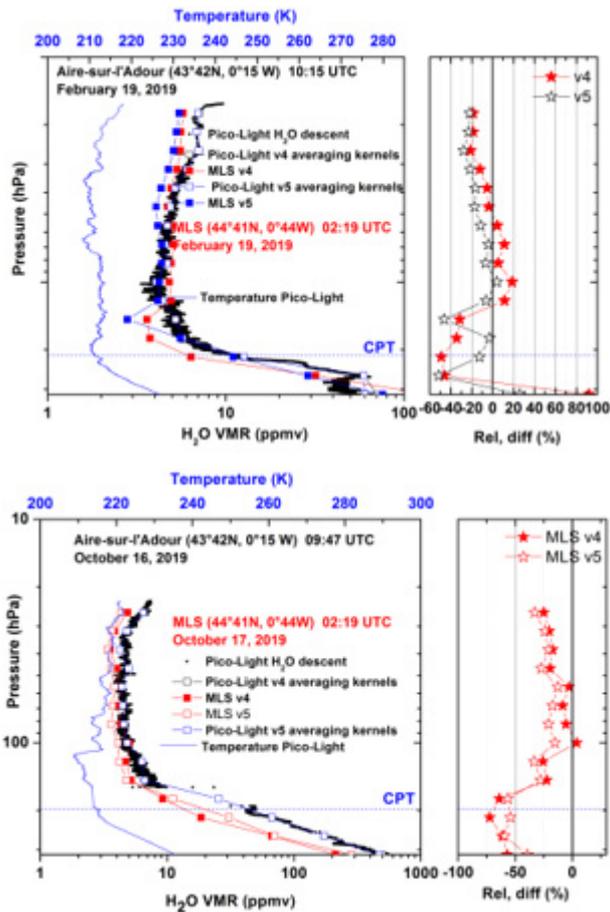


Figure 186 : Profils verticaux de vapeur d'eau dans l'UT-LS moyenne latitude issus des mesures de Pico-Light les 19/02/2019 et 16/10/2019 (noirs), échantillonnés sur la grille verticale de MLS et après application des averaging kernels de MLS (carrés noirs ouverts), comparés aux profils satellitaires de Aura-MLS v4 (carrés rouges pleins) et v5 (carrés ouverts rouges). La différence relative par niveau est donnée dans le cadre de droite.

Les deux figures ci-dessus montrent les profils verticaux de vapeur d'eau issus des mesures de Pico-Light (noir) lors de ces vols. Afin de pouvoir les comparer aux mesures satellitaires de Aura-MLS (rouges), une interpolation dans l'espace des log(pression) a été réalisée et les profils dégradés ont ensuite été convolués avec les averaging kernels de MLS à 70°N. Les profils obtenus figurent avec des carrés noirs ouverts. Les différences relatives par niveaux sont données dans le cadre de droite pour les versions v4 et v5 de MLS (publication en cours). Ces résultats sont similaires à ceux publiés lors d'inter-comparaisons précédentes entre MLS et d'autres hygromètres (Herman et al., 2017 ; Livesey et al., 2018 ; Sunilkumar et al., 2016 ; Yan et al., 2016).

Stratéole-2, pré-campagne (déc. 2019), Mahé (Seychelles) :

Comme indiqué au début de ce chapitre, le but sur les 4 dernières années était de déployer Pico-STRAT Bi-Gaz dans le cadre du programme CNES Stratéole-2 (voir aussi l'article dédié à Stratéole-2). La campagne

technologique s'est déroulée entre la mi-octobre et la mi-décembre 2019.

Une configuration TTL2 contenant Pico-STRAT Bi-Gaz a ainsi été déployée depuis les Seychelles le 5 décembre 2019.



Figure 187 : La nacelle Zéphyr suspendue au plafond et, en dessous, la cellule de mesure de Pico-STRAT



Figure 188 : Trajectoire suivie par la nacelle

Le vol a duré près de 80 jours, et plusieurs dizaines de milliers de spectres de vapeur d'eau ont pu être acquis, tout autour de l'équateur. Le comportement de l'instrument dans cet environnement extrême a permis de réaliser des mesures avec des périodes très courtes (4' à 10' contre 15' envisagé dans les spécifications). La densification des mesures a permis d'optimiser l'échantillonnage de la masse d'air et d'augmenter les chances d'interception d'éventuelles signatures convectives.

Le traitement des spectres obtenus est actuellement en cours. Les premiers résultats obtenus montrent des observations intéressantes qui permettront l'identification de zones géographiques d'intérêt mais aussi pourraient permettre d'améliorer la configuration de vol pour optimiser les mesures des campagnes scientifiques de 2021 et 2024.

2.44.4. Perspectives

Les principales perspectives consistent à préparer les 6+2 nacelles pour les deux futures campagnes du programme Stratéole-2 du CNES, en 2021 et 2024.

Dans le cadre de Stratéole-2, l'ANR BOOSTER financée en 2017 nous permet de développer une version allégée et plus sensible de Pico-SDLA CH4. Le prototype en cours de développement devrait peser moins de 5 kg et avoir une précision 5 fois meilleure (autour de 6 ppbv). Dans le cas d'un succès, le spectromètre obtenu répondrait aux exigences de précision du GCOS (troposphère et stratosphère) concernant les ECV (Essential Climate Variables).

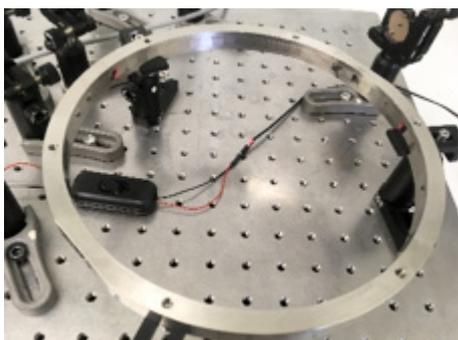


Figure 189 : Cellule multi-passage en développement pour la mesure du CH4 (parcours optique = 15 m)

En parallèle, nous consolidons les développements de Pico-Light. Comme mentionné plus haut, l'objectif est d'obtenir un hygromètre opérable en TransNational Access par la communauté atmosphère. A cette fin, nous développons actuellement une collaboration forte et durable avec trois instituts météorologiques nationaux (LNE-Cnam pour la température et LNE-CETIAT pour l'hygrométrie) et américains (NIST). Cette collaboration sera profitable à long terme tant pour notre équipe que pour ces instituts puisque nous participons ainsi à l'adaptation de leurs systèmes d'étalonnage aux besoins de la communauté atmosphère. Ainsi, les développements réalisés dans le cadre de notre projet (HYGROMATMO, à soumettre à l'APR CNES 2021) pourront profiter à toute la communauté, notamment dans le cadre d'un second projet HEMERA (horizon 2022).

Personnel DT impliqué :

Nadir Amarouche.
Hervé Barrois.
Christophe Berthod.
Fabien Frérot.
Audrey Goujon.

Tamatéa Russello.

Jean-Christophe Samaké.

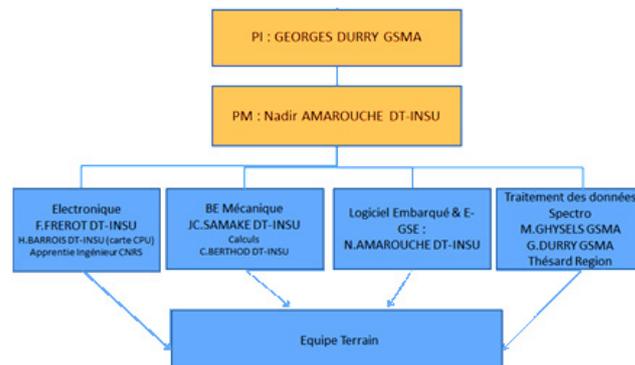


Figure 190 : Organigramme du projet

Personnel GSMA impliqué :

Georges Durry.
Clément Capitaine.
Mélanie Ghysels-Dubois.

Bilan RH :

Année	ETPT DT	ETPT GSMA	Campagne
2015	2.3	0.4	TIMMINS
2016	2.38	0.4	KRN
2017	2.95 Dont 0.4 Apprenti	0.4	ASP
2018	STRAT 1.43 STD 0.25 LIGHT 1.13 Dont 0.4 Apprenti	1 dont 0.15 Thésard Region	TIM18 + LIGHT
2019	STRAT 1.5 STD 0.10 LIGHT 0.9	1,25 dont 0.15 Thésard Region	SEZ19+ASA

Figure 191 : Bilan RH de Pico-SDLA

Publications :

- K. Behera, E. D. Rivière, V. Marécal, J. -F. Rysman, C. Claud, G. Seze, N. Amarouche, M. Ghysels, S. Khaykin, J. -P. Pommereau, G. Held, J. Burgala and G. Durry. « Modeling the TTL at Continental Scale for a Wet Season : An Evaluation of the BRAMS Mesoscale Model Using TRO-Pico Campaign, and Measurements From Airborne and Spaceborne Sensors », Journal of Geophysical research, 123,2491-2508, (2018).
- S. M. Khaykin, J. -P. Pommereau, E. D. Rivière, G. Held, F. Ploeger, M. Ghysels, N. Amarouche, J. -P. Vernier, F. G. Wienhold,

and D. Ionov. « Evidence of horizontal and vertical transport of water in the Southern Hemisphere Tropical Tropopause Layer (TTL) from high-resolution balloon observations », *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 12273-12286, (2016).

- M. Ghysels, E. D. Riviere, S. Khaykin, C. Stoeffler, N. Amarouche, J. -P. Pommereau, G. Held, and G. Durry. « Intercomparison of in situ water vapor balloon-borne measurements from Pico-SDLA H₂O and FLASH-B in the tropical UTLS », *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 1207-1219, doi: 10.5194/amt-9-1207-2016, (2016).
- E. Rivière, J.-P. Pommereau, N. Amarouche, S. Khaykin, M. Ghysels, I. Mapped-Fogaing, C. Stoeffler, D. Toledo-Tarasco, P. Rannou, J.-B. Renard, F. Wienhold, G. Durry, G. Held. « Overview of the TRO-pico campaign aiming at studying of the impact of convective overshooting on the stratospheric water budget : first highlights », *EGU General Assembly Conference Abstracts*, (2014).
- Mapped, E. Riviere, S. Khaykin, M. Ghysels, C. Stoeffler, N. Amarouche, G. Durry, G. Held. « Study of air masses trajectories during the TRO-pico campaign aiming at studying of the impact of convective overshooting on the stratospheric water budget, *EGU General Assembly Conference Abstracts*, (2014).

Communications orales :

- FLAIR 2018 : Assisi (Italie), 10-14 sep. 2018. M. Ghysels et al., « Pico-SDLA mid-infrared in-situ spectrometer for lower stratosphere water vapor monitoring », 12/09/2018, 10:00-10:15 AM.
- ASA/HITRAN Meeting : Reims (France), 24-26 août 2016.

Grand public :

- Treize portraits de mathématiciennes en Europe, Fête des Sciences 2018, 11-12 oct. 2018.
- 11^{ème} édition des rencontres du Ciel et de l'Espace, Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris, « Ballons stratosphériques », 2-4 nov. 2018.

Ouvrages :

« Advances in Spectroscopic Monitoring of the Atmosphere », 1st edition, éditeurs : W. Chen, D. S. Venables et M. W. Sigrist. Chapitre « Balloon-borne and airborne measurements ». Elsevier, date de publication : 1er novembre 2020. ISBN : 9780128150146.

<https://www.elsevier.com/books/advances-in-spectroscopic-monitoring-of-the-atmosphere/chen/978-0-12-815014-6>

Posters :

- EGU General Assembly : Vienna (Austria), EGU2016-5585, 2016.
- Workshop « Water budget in the tropical tropopause layer » : Reims (France), session 1, S1P1, 2015.
- EGU General Assembly : Vienna (Austria), EGU2015-10432, 2015.

Contact :

Nadir Amarouche, nadir.amarouche@cnr.fr

Georges Durry, georges.durry@univ-reims.fr

Mélanie Ghysels-Dubois, melanie.ghysels-dubois@univ-reims.fr

2.45. Pirata

Laboratoire demandeur : LOCEAN.

Chercheur : Nathalie Lefèvre.

2.45.1. 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.

2.45.2. 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, de température, d'oxygène et de pression atmosphérique. Les données sont transmises en quasi temps réel par satellite Argos.

2.45.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

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

Au cours de la période 2015-2019, 10 déploiements de bouées Pirata équipées de capteurs pCO₂ ont été effectués.

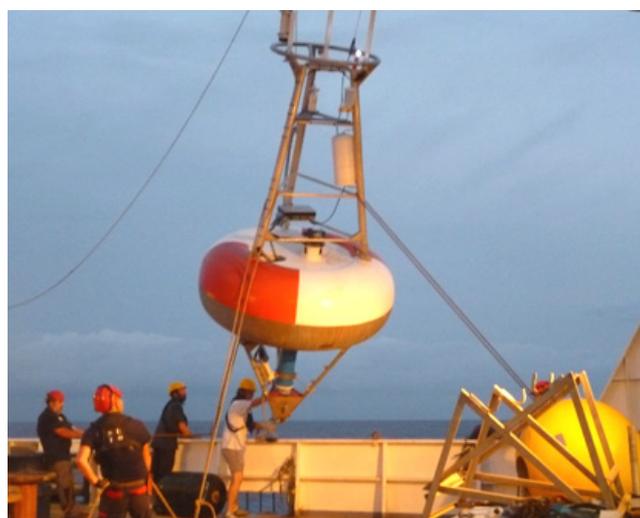


Figure 192 : Mise à l'eau d'une bouée Pirata équipée d'un capteur pCO₂

Les mesures de CO₂ sur la bouée « 8N, 38W » ont été abandonnées en 2017 pour des raisons logistiques. Cette bouée a été remplacée par la « 6S, 8E ».

2.45.4. Perspectives

Les observations de 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.

Publication :

Nathalie Lefèvre, Antoine Guillot, Laurence Beaumont, and Théo Danguy, « Variability of fCO₂ in the Eastern Tropical Atlantic from a moored buoy », *J. Geophys. Res.*, 113, C01015, 2008. Doi: 10.1029/2007JC004146.

Personnel DT impliqué :

Benoit Arnold, Hervé Barrois, Laurence Beaumont.

Contact :

laurence.beaumont@cnsr.fr

2.46. PP-SESAME

Etablissement demandeur : LATMOS.

Demandeur : Alice Le Gall.

2.46.1. Objectifs scientifiques

Dans le cadre de la mission ROSETTA (ESA), le LATMOS était responsable scientifique de l'instrument PP-SESAME qui est une sonde de permittivité embarquée sur l'atterrisseur Philae. L'objectif était d'évaluer la permittivité complexe (constante diélectrique et conductivité électrique) du sol de la comète sur lequel Philae s'est posé en novembre 2014.

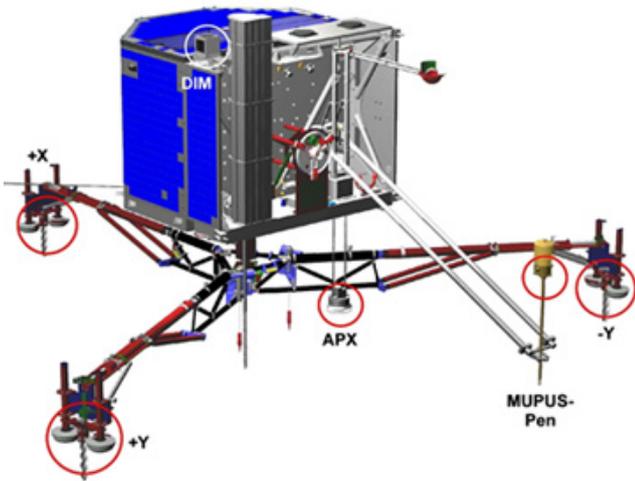


Figure 193 : Structure de l'atterrisseur Philae

Le principe de PP-SESAME repose sur la mesure du potentiel produit par un dipôle émetteur. Par sa présence, en tant que référence de potentiel électrique, l'atterrisseur fait partie intégrante du système de mesure et c'est pourquoi il est indispensable, pour l'étalonnage des données, de disposer d'une maquette géométriquement et électriquement fidèle au modèle de vol.

2.46.2. Description technique

L'objectif de la demande est d'obtenir un soutien afin de réaliser les pièces mécaniques de la maquette de l'atterrisseur Philae. Les besoins stipulent que la maquette doit représenter l'atterrisseur avec une bonne fidélité. En particulier, il doit présenter les mêmes dimensions que le modèle de vol et un comportement électrique similaire pour réaliser l'étalonnage de l'instrument PP-SESAME. Ce dernier point est fondamental et implique l'installation de liens électriques entre différents éléments de la maquette.

2.46.3. Activités de la DT

En 2015, la DT a pris la responsabilité de concevoir, fabriquer et assembler la maquette de Philae, ainsi

qu'un tripode spécifique conçu pour la manipuler sur un sol naturel.

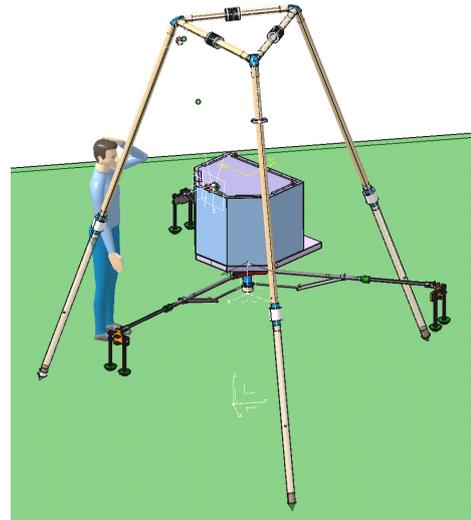


Figure 194 : Maquette de Philae et son tripode de levage

La maquette est décomposée en 7 éléments principaux :

- Le corps principal est une coquille vide constituée d'une semelle en nid d'abeille et de panneaux d'aluminium.
- L'axe principal, assurant la rotation entre le corps et le train d'atterrissage, est fabriqué en thermoplastique POM.
- L'araignée, élément central assurant la transmission des efforts du corps vers les pieds, est en POM.
- Les jambes, au nombre de 3, sont réglables en longueur et sont constituées de 2 tubes en composite carbone-époxy.
- Les raidisseurs, augmentant la rigidité des jambes, sont des tubes en composite.
- Les 3 pieds identiques, assurent le contact avec le sol.
- L'entretoise, permettant de modifier la hauteur du corps principal par rapport au sol, est également en POM.

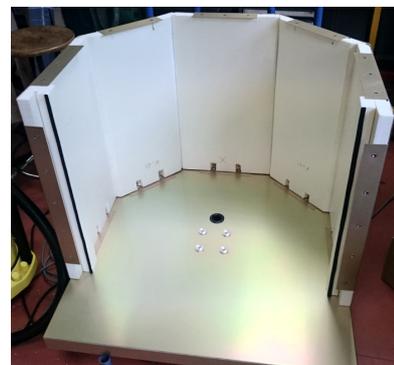


Figure 195 : Corps principal ouvert



Figure 196 : Les 3 jambes associées à leurs raidisseurs et à la pince de leur articulation jambe-pied

Quant au tripode spécialement conçu, il est constitué de tubes en composite verre-époxy, de 3 prolongateurs de jambe en POM, et de 3 pièces de jonction en ABS obtenues par fabrication additive.

Une analyse numérique par éléments finis a été réalisée pour s'assurer que la structure, soumise à des cas de charge statiques et de flambage, est correctement dimensionnée vis-à-vis des contraintes à la rupture des matériaux.

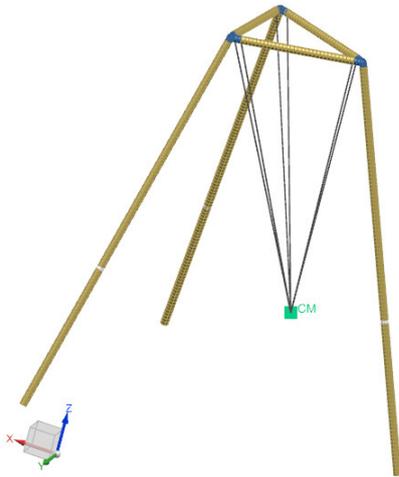


Figure 197 : Modèle du tripode posé sur un sol incliné



Figure 198 : Test de levage de la maquette sous le tripode

2.46.4. Campagne de mesure

En vue d'obtenir les données d'étalonnage de PP-SESAME, le déploiement de la maquette sur le terrain a été effectué du 23 au 27 novembre 2015 dans une grotte du massif du Dachstein (Obertraun, Autriche). De la DT, Guillaume Lorgeoux a participé à cette campagne de mesure.



Figure 199 : Déploiement dans la grotte de Dachstein

Personnel DT impliqué :

Nicolas Geyskens, conception mécanique.

Guillaume Lorgeoux, conception mécanique.

Christophe Berthod, calculs mécaniques.

Aurélien Cléménçon, fabrication, assemblage.

Benoit Lemaire, fabrication, assemblage.

Contact :

nicolas.geyskens@cnr.fr

2.47. Radar MOOSE

Laboratoire demandeur : MIO.

Chercheur : Bruno Zakardjian.

2.47.1. Objectifs scientifiques

- Océanologie physique.
- Validation des modèles de circulation.
- Etude du courant nord méditerranéen.
- Modèle haute résolution.
- Physique et profondeur équivalente de la mesure radar.
- Carte des courants de surface.

2.47.2. Description technique

Après une intense activité de déploiements et d'automatisation des sites radar, la demande de soutien en 2015 concernait :

- La maintenance des 6 sites.
- La calibration par mesures conjointes radar-bateau.
- La surveillance et l'intervention sur pannes.

2.47.3. Activités

Seule une intervention effective a suivi cette demande de soutien. Il s'agit de la remise en service du radar de Saint-Jean-Cap-Ferrat, installé par la DT, et qui avait été foudroyé.

2.47.4. Perspectives

Il n'y a plus de demandes de soutien pour les radars à la DT, le MIO dispose d'agents temporaires pour cette tâche.

Personnel DT impliqué :

Pascal Guterman.

Contact :

pascal.guterman@cnrs.fr



Figure 200 : Radar courantométrique au phare de Saint-Jean-Cap-Ferrat

2.48. RADO

Récupération et Archivage de Données OBS

Laboratoire demandeur : IPGP.

Chercheur : Wayne Crawford.

Demandeur : Romuald Daniel.

Personnel DT impliqué :

Olivier Dewée.

Contact :

olivier.dewee@cnrs.fr

2.48.1. Objectifs scientifiques

Lors de campagnes de mesures, des données sismiques sont acquises par les sismomètres fond de mer du parc OBS de l'INSU. Dans le but de pouvoir mettre ces données à disposition des chercheurs sismologues, des informations sont enregistrées afin de pouvoir apporter des précisions sur le contexte dans lequel ces données ont été obtenues. Ces informations, en lien avec la mise en œuvre des dispositifs d'acquisition sismique, vont faire partie des métadonnées associées aux données sismiques qui seront livrées.

2.48.2. Description technique

Le système d'information RADO (LABO & MER) va offrir les fonctionnalités suivantes :

- Référencement et suivi des composants matériels pour les dispositifs d'acquisition sismique du parc OBS.
- Définition de missions opérationnelles répondant aux prestations demandées au parc OBS.
- Suivi des opérations demandées s'appliquant aux OBS lors de mission en mer.
- Stockage sur support mobile des données sismiques recueillies sur les OBS récupérés en mer.

2.48.3. Perspectives

Les étapes à venir concerneront la réalisation des sous-ensembles fonctionnels suivants pour le sous-système RADO-MER :

- Conservation du résultat des check-lists appliquées aux appareils de mesure.
- Conservation du paramétrage des appareils de mesure mis en œuvre.
- Suivi de l'emport/embarquement et du retour/débarquement du matériel.
- Suivi des opérations effectuées sur les appareils de mesure lors de mission opérationnelle.

2.49. SOCLIM

Laboratoire demandeur : LOMIC (Banyuls).

Chercheur : Stéphane Blain.

<http://soclim.com>

2.49.1. Objectifs scientifiques

L'objectif du projet SOCLIM (Southern Ocean and CLIMate) est d'étudier les cycles du carbone dans l'océan austral et améliorer les observations par l'acquisition de données in-situ. Des plateformes instrumentales innovantes ont été développées et ont permis l'acquisition de données in-situ sans précédent.

2.49.2. Description technique

Un capteur pCO₂ de type BIOCAREX a été développé et construit à la DT afin d'être déployé lors de la campagne SOCLIM. Il a été fixé à 40 m de profondeur sur le RAS (Remote Access Sampler) (photo ci-dessous), lui-même déployé sur un mouillage de sous-surface développé par la DT-INSU.

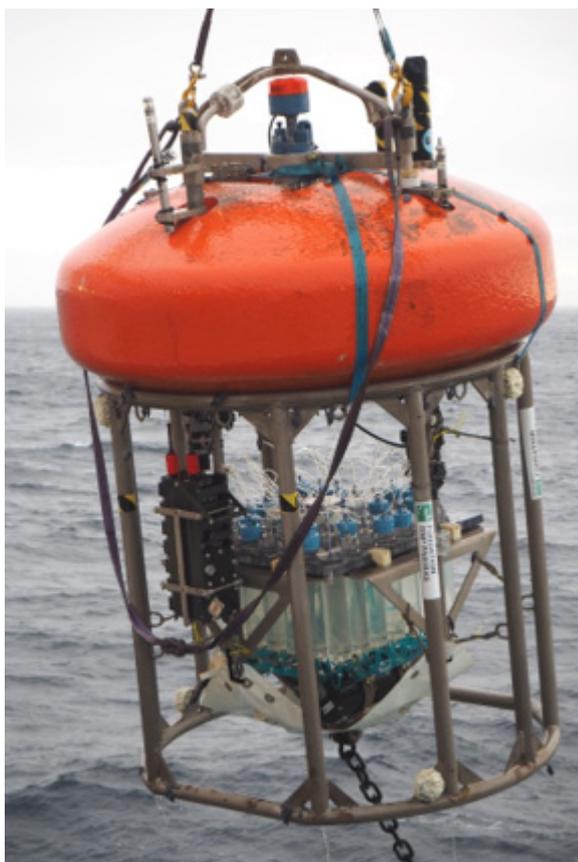


Figure 201 : RAS et capteur pCO₂ lors de leur récupération après 6 mois de déploiement

Un nouveau data logger a été développé afin de fiabiliser les enregistrements du capteur pCO₂ et le pompage de l'eau de mer a été amélioré.

Des tests de résistance à la pression ont été effectués jusqu'à 80 m de profondeur afin de s'assurer de la

résistance et de l'étanchéité du capteur jusqu'à cette profondeur.

2.49.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

La campagne a eu lieu au large des îles Kerguelen. Les capteurs ont été déployés du 18 octobre 2016 au 7 avril 2017 et le capteur pCO₂ a effectué des mesures horaires de pCO₂ et de température. Il a parfaitement fonctionné et a effectué ses mesures pendant toute la durée du déploiement.

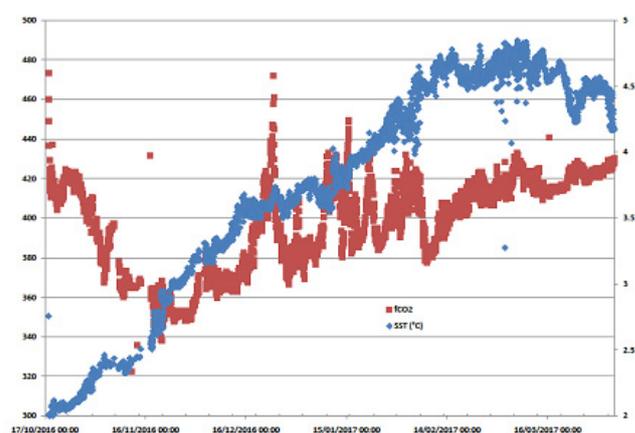


Figure 202 : Données enregistrées pendant le déploiement

Publication :

V. Pellichero, J. Boutin, H. Claustre, L. Merlivat, J.B. Sallée, and S. Blain, « Wind stress drives the abrupt onset of biological CO₂ uptake in the Kerguelen Bloom: multisensors approaches », in revision for GRL, 2019.

Personnel DT impliqué :

Benoit Arnold, Hervé Barrois, Laurence Beaumont.

Contact :

laurence.beaumont@cns.fr

2.50. SST-GATE

Thématique INSU : Astronomie-Astrophysique.

Laboratoire demandeur : LUTH.

Chercheur : Hélène Sol.

2.50.1. Objectifs scientifiques

Le projet CTA (Cherenkov Telescope Array) vise à construire le plus grand observatoire gamma au sol du monde avec plusieurs dizaines de télescopes de différentes tailles. Il couvrira un large domaine spectral de 0.02 TeV à 300 TeV (1 TeV = 1 téraélectronvolt = 1000 milliards d'électronvolt), et l'ensemble du ciel grâce à deux réseaux de télescopes : l'un dans l'hémisphère nord aux îles Canaries et l'autre dans l'hémisphère sud au Chili. CTA aura une sensibilité dix fois supérieure à celle des instruments actuels, ainsi qu'une résolution angulaire spectrale et temporelle sans précédent. Le consortium CTA rassemble environ 1420 membres de 31 pays, répartis dans plus de 200 instituts.

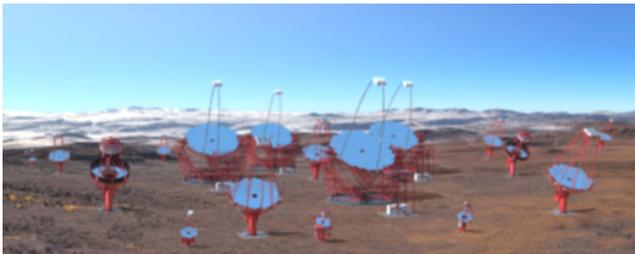


Figure 203 : Vue d'artiste du site sud de CTA, illustrant les télescopes de différentes tailles : 4 m, 12 m et 23 m

Les rayons gamma aux énergies du TeV – des milliers de milliards plus énergétiques que la lumière visible – et les rayons cosmiques génèrent des gerbes fugaces de particules secondaires en entrant dans l'atmosphère terrestre. Ces particules, plus rapides que la vitesse de la lumière dans l'air, émettent un pinceau de rayonnement bleuté, la lumière Cherenkov du nom de son découvreur, sous la forme d'une enveloppe conique.

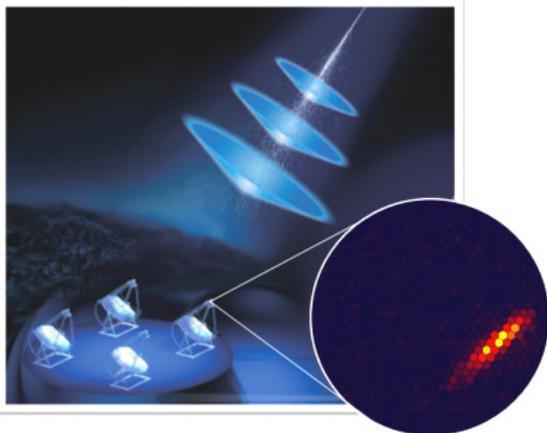


Figure 204 : Principe de l'astronomie gamma au sol

La Division Technique a apporté son soutien au démonstrateur de télescope SST-GATE (Small Size Telescope GAMMA-ray Telescope Elements).

Ce prototype, issu de la collaboration du GEPI et du LUTH de l'Observatoire de Paris, est installé sur le site de l'Observatoire de Meudon et s'inscrit dans le projet CTA.



Figure 205 : Le télescope SST-GATE à l'Observatoire de Meudon avec la caméra scientifique installée en avril 2017

2.50.2. Description technique

Les télescopes de type Cherenkov, comme HESS, MAGIC et VERITAS, détectent des flashes ténus de quelques nanosecondes avec des caméras composées d'une mosaïque de photomultiplicateurs et ont ainsi ouvert une nouvelle fenêtre sur le cosmos. L'analyse des images de gerbes permet de remonter aux caractéristiques des sources cosmiques de rayons gamma, telles que des restes de supernovæ, des vents de pulsars ou de quasars et des noyaux actifs de galaxies.

2.50.3. Activités

La DT-INSU a été moteur sur plusieurs lots techniques du prototype. Elle a réalisé notamment l'ensemble du travail de conception, de développement et de réalisation du suivi de pointage de l'instrument. Elle a aussi apporté son expertise sur le développement du logiciel de contrôle commande (protocole OPC UA) et sur la programmation des sécurités (automate Beckhoff).

Conjointement à ces activités de conception logiciel, la DT-INSU a participé depuis 2015 à toutes les étapes d'assemblage, d'intégration, de tests et de validation du prototype. Elle a été responsable spécifiquement de la vérification des performances optiques. La DT-INSU a également pris en charge les aspects d'ingénierie système par la rédaction du plan de vérification et de validation et la mise en place de la matrice de conformité.

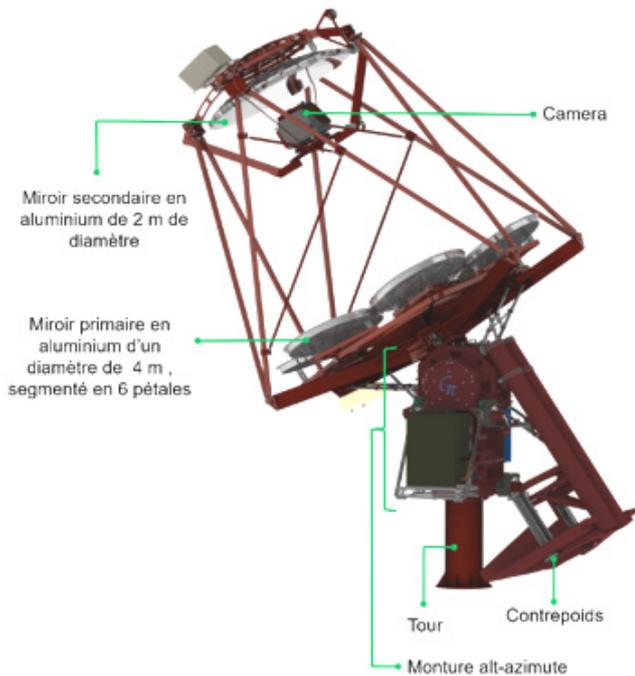


Figure 206 : Les différents éléments de SST-GATE

2.50.4. Perspectives

En 2019, les divers projets de SST entrent en phase finale d'optimisation au niveau international pour lancer la construction d'un réseau de 50 à 70 SST unifiés pour le site sud de CTA au Chili. Les négociations pour la mise en place d'un consortium SST sont en cours entre l'INAF, le CNRS DESY, et le CTA Observatory.

Publications :

- Dournaux et al., « Application of the topography optimization technique to the design of a lightweight primary mirror for the GCT, a dual-mirror telescope proposed for the Cherenkov Telescope Array », Proceedings of the SPIE conference, 2018.
- Le Blanc et al., « Final characterisation and design of the Gamma-ray Cherenkov Telescope (GCT) for the Cherenkov Telescope Array », Proceedings of the SPIE conference, 2018.

Personnel DT impliqué :

Gilles Buchholtz (2013-2019), informatique.

Johann Gironnet (2015-2019), ingénierie système.

Contact :

gilles.buchholtz@cnrs.fr

johann.gironnet@cnrs.fr

2.51. Station benthique

Thématique INSU : Océan-Atmosphère/océan et Surface et Interfaces Continentales.

Laboratoire demandeur : LSCE.

Chercheur responsable : Christophe Rabouille.

2.51.1. 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 apportées 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 (SB) est un outil de mesures in situ permettant de réaliser des séries spatio-temporelles 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.

2.51.2. Description technique

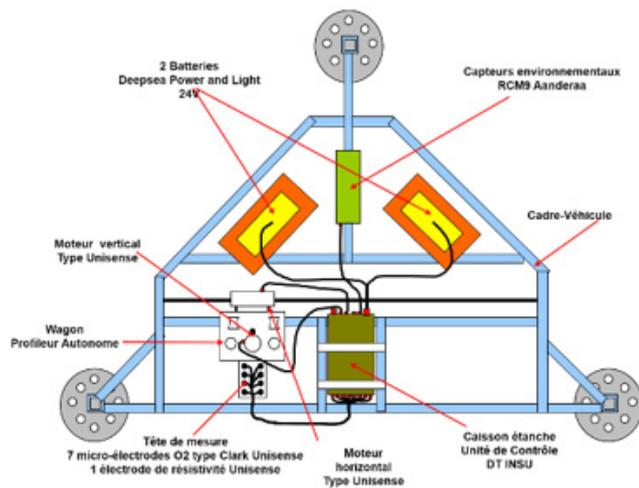


Figure 207 : Schéma de la station vue de dessus

Cette station est constituée de plusieurs éléments :

- Les 3 batteries de 40 Ah chacune pour tenir pendant 2 mois en autonomie complète.
- Le RCM9 : système autonome d'acquisition et d'enregistrement de plusieurs paramètres environnementaux (turbidité, température, salinité, oxygène dissous et pression) de la société Aanderaa qui sert à détecter les

conditions environnementales particulières (événements) pour ensuite effectuer un échantillonnage à haute fréquence.

- Le profileur 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).

2.51.3. Activités, campagnes, déploiements

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 SB a participé à plusieurs campagnes installées sur la station Mesurho près de l'embouchure du Rhône.

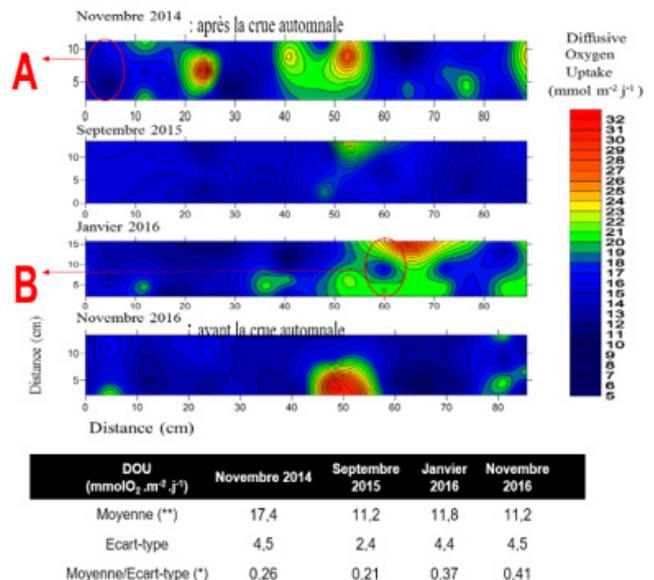


Figure 208 : DOU issus de la SB au pro-delta du Rhône. Voir ci-dessous les données des événements A et B

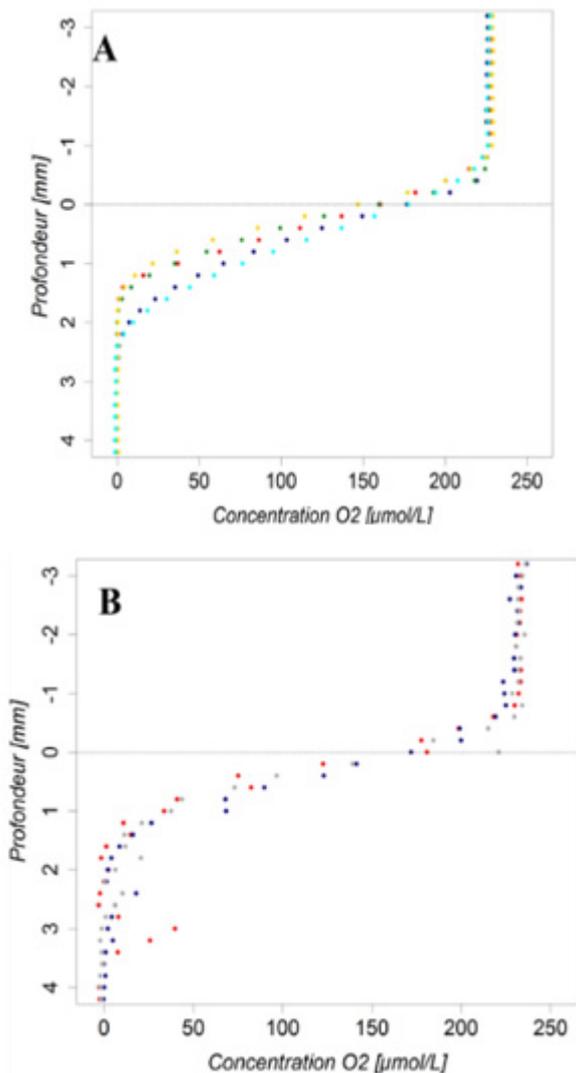


Figure 209 : Données de la SB

L'étape suivante, de 2017 à 2019, correspond à la phase de refonte qui a permis de fiabiliser la mécanique et le passage aux micro-optodes en fibre optique pour une meilleure longévité. Une campagne de validation est prévue pour 2020.

2.51.4. Perspectives

Une refonte de l'électronique de contrôle doit être prévue du fait de l'obsolescence du matériel actuel.

Les investissements à venir devraient également se faire dans le cadre du projet européen MOISSES-H2020 afin d'intégrer un profileur équipé de micro-optodes sur le Bathybot installé à proximité de la station MOOSE ANTARES au large de Toulon.

Publications :

- Moriarty J.M., Harris C.K., Fennel K., Friedrichs M.A.M., Xu K., Rabouille C., « The roles of resuspension, diffusion and biogeochemical processes on oxygen dynamics offshore of the Rhône River,

France: a numerical modeling study ». Biogeosc. 14, 1919–1946, 2017.

- Pairaud I., Répécaud M., Ravel C., Fuchs R., Arnaud M., Champelovier A., Rabouille C., Bombled B., Toussaint F., Garcia N., Raimbault P., Verney R., Meulé S., Gaufres P., Bonnat A., Cadiou J.F., « MesuRho : plateforme instrumentée de suivi des paramètres environnementaux à l'embouchure du Rhône », in : Schmitt F.G., Lefebvre A. (Eds.), Mesures haute résolution dans l'environnement marin côtier. Presses du CNRS, Boulogne, pp. 73-87, 2016.
- Toussaint F., Rabouille C., Cathalot C., Bombled B., Abchiche A., Aouji O., Buchholtz G., Cléménçon A., Geyskens N., Répécaud M., Pairaud I., Verney R., Tisnérat-Laborde N., « A new device to follow temporal variations of oxygen demand in deltaic sediments: the LSCE benthic station ». Limnol. Oceanogr. Methods 12, 729-741, 2014.

Personnel DT impliqué :

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

Gilles Buchholtz : informatique embarquée.

Alexandre Blin : conception mécanique.

Aurélien Cléménçon : réalisations mécaniques.

Benoît Lemaire : conception et réalisations mécaniques.

Contact :

oualid.aouji@cnr.fr

2.52. STEP

Storfjorden Polynya Multidisciplinary Study

Laboratoire demandeur : LSCE / LOCEAN.

Chercheur : E. Michel / J. Boutin.

2.52.1. Objectifs scientifiques

A travers l'étude d'une polynie arctique (zone libre de glace), le projet vise une meilleure compréhension de la dynamique des polynies et des processus associés à la formation des eaux denses ainsi que leur impact sur le cycle des gaz à effet de serre.

Un capteur pCO₂ Carioca a été ajouté à la ligne de mouillage équipée de CTD, ADCP, ainsi que des capteurs d'oxygène dissous et de pH pour un suivi annuel du cycle du carbone.

2.52.2. Description technique

Un capteur de mesure de pCO₂ par colorimétrie de type Carioca BIOCAREX a été modifié afin d'augmenter l'autonomie de celui-ci jusqu'à 1 an. Un nouveau data logger moins énergivore a été développé et des modifications mécaniques ont été effectuées afin d'ajouter des batteries supplémentaires. Un pompage de l'eau de mer est effectué en continu afin d'éviter le développement de fouling. Afin d'accrocher le capteur à la ligne de mouillage, une structure spécifique au capteur a également été développée.

Le capteur effectue des mesures de pCO₂ et de température toutes les heures.

2.52.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences



Figure 210 : Capteur pCO₂ lors de sa récupération après 14 mois dans l'eau

La campagne de déploiement dans le Storfjord (Norvège) a eu lieu en juillet 2016.

Le capteur pCO₂ a été déployé du 14 juillet 2016 au 29 septembre 2017 à environ 30 m de profondeur.

Personnel DT impliqué :

Benoit Arnold, Hervé Barrois, Laurence Beaumont.

Contact :

laurence.beaumont@cnr.fr

2.53. STRATEOLE 2

Laboratoire demandeur : LMD.

Demandeur : Albert Hertzog.

2.53.1. Objectifs scientifiques

Le projet Strateole 2 vise à réaliser 2 campagnes d'observations de la haute troposphère et basse stratosphère équatoriale à l'aide de ballons pressurisés capables d'effectuer des vols de plusieurs mois dans l'atmosphère.

Au cours des campagnes, les ballons emportent un ensemble d'instruments réalisant soit des mesures in situ, soit à distance. Ces instruments sont développés par différents laboratoires en France et aux Etats-Unis. Ils permettront 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).

2.53.2. Description technique

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 (pression de 50-70 hPa, température de -80°C).

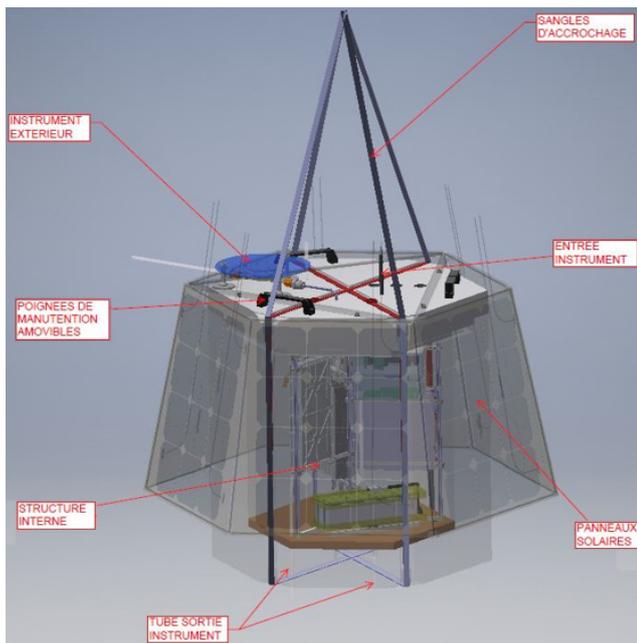


Figure 211 : Vue de la nacelle Zéphyr en version TTL1

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 permettant de réaliser les objectifs scientifiques du projet. Ces quatre combinaisons conduisent à autant de configuration de nacelles NCU. L'objectif de masse totale visée pour une NCU Zéphyr est de 22 kg.

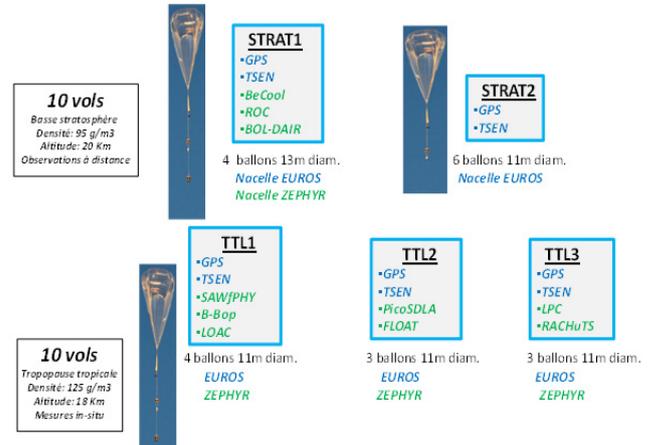


Figure 212 : Les combinaisons possibles de NCU Zéphyr

Composition d'une NCU Zéphyr :

- Un générateur solaire (GS) constitué de panneaux solaires.
- Une structure rigide de maintien du GS.
- Un pack de batteries.
- Un module MC2 et son logiciel de fonctionnement.
- Un module électronique de gestion de bord (OBC) et son logiciel de fonctionnement.
- Un module Iridium.
- Des antennes GPS et Iridium.
- Des charges utiles (les instruments scientifiques).
- Une structure mécanique de support des instruments dans la nacelle.
- Un harnais électrique.
- Des sangles d'accrochage.

2.53.3. Activités de la DT

Dès 2015, le LMD à Palaiseau a demandé à la DT un support en termes de design mécanique et de calculs thermiques de la NCU Zéphyr.

Mécanique : design, atelier, calculs, réalisation, intégration

Cette tâche consiste en la conception et la réalisation des coques externes des nacelles Zéphyr, pour toutes configurations, ainsi que la structure interne

permettant l'intégration des instruments et des différents sous-systèmes.

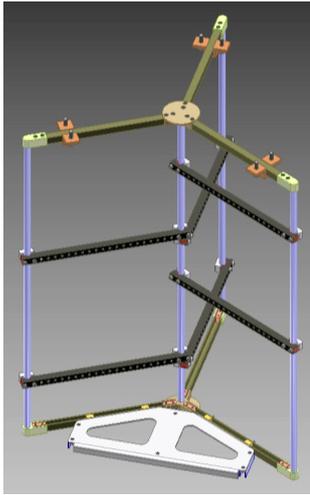


Figure 213 : Conception de la structure interne

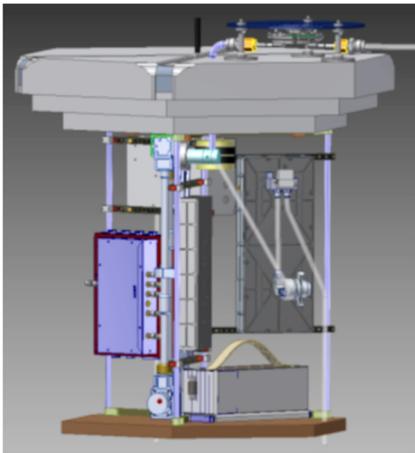


Figure 214 : Intérieur de la NCU en version TTL1

Analyses thermiques

Les simulations thermiques transitoires doivent tenir compte de l'environnement externe complet (température et pression de l'air, flux émis par le Soleil et la Terre) ainsi que des propriétés propres à la nacelle Zéphyr (émissivité des surfaces, couplages conductifs, charges variables selon les instruments, etc).

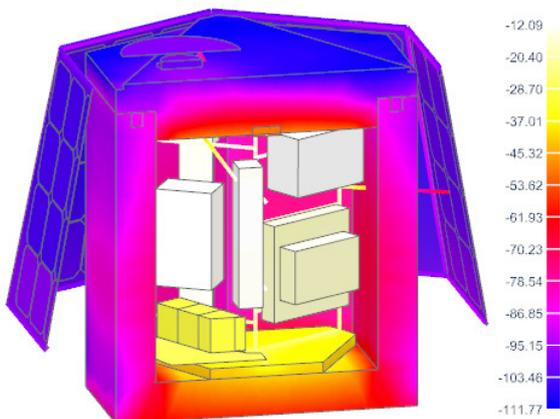


Figure 215 : Exemple de champ des températures calculées dans le cas froid en tout point de la nacelle

Les résultats mènent à une meilleure compréhension des cycles thermiques, une confiance en la conception de l'isolation, et une estimation des besoins électriques de réchauffage pour au final maintenir les instruments dans leur gamme de température admissible.

2.53.4. Campagnes

Une campagne technologique destinée à qualifier en vol le comportement des charges utiles, ainsi que les nacelles développées pour le projet, a été réalisée en octobre-novembre 2019 avec le lâcher de 8 ballons. L'expertise ballons est fournie par le CNES qui met en œuvre ses ballons pressurisés stratosphériques de 11 et 13 m de diamètre remplis d'hélium, capables de voler durant au moins 3 mois entre 18 et 20 km d'altitude, et de faire entre 2 et 3 fois le tour de la Terre à proximité de l'équateur.



Figure 216 : Décollage de nuit de la chaîne de vol de Strateole 2

Les Seychelles, et plus particulièrement l'île principale de Mahé, sont choisis comme zone de lâcher des ballons.



Figure 217 : Trajectoires autour du monde des nacelles de la campagne technologique

Le projet STRATEOLE-2 ambitionne de réaliser deux campagnes scientifiques prévues fin 2021 et fin 2024.

Personnel DT impliqué :

Joseph Spatazza, conception mécanique.

Guillaume Lorgeoux, conception mécanique.

Christophe Berthod, calculs thermiques.

Benoit Lemaire, tests de lâcher.

Contact :

joseph.spatazza@cns.fr

2.54. SUBGLACIOR

Laboratoire demandeur : LGGE

Chercheur : Jérôme Chappellaz

Partenaires : LGGE, LiPhy, LSCE

2.54.1. Objectifs scientifiques

L'objectif du projet SUBGLACIOR est de concevoir, construire et mettre en œuvre un système de forage de glace révolutionnaire capable de mesurer des signaux géochimiques de base (concentration en méthane et isotopes de l'eau) en temps réel pendant le forage à l'aide d'un spectromètre laser embarqué dans la sonde. Ici, on ne parle pas plus de carottage mais de forage destructif rapide, une partie de la glace étant analysée en temps réel in-situ.

2.54.2. Description technique

La DT avait en charge la régulation de la température du spectromètre laser embarqué ainsi que la régulation de la température interne de la sonde. La température du spectromètre devait être stable à 0,01°C. Le mode de chauffage ne devait pas introduire de bruit pour ne pas perturber les mesures effectuées par le spectromètre.

2.54.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

Les tests de validation ont été réalisés dans les pièces réfrigérées du LGGE à Grenoble.

Les premiers essais sur le terrain ont été réalisés sur la campagne d'été 2016/2017 au Dôme C (Antarctique).

2.54.4. Perspectives

La sonde n'a toujours pas été entièrement testée sur le terrain, une nouvelle campagne de terrain devrait avoir lieu sur la saison 2020/2021. La DT devrait participer à cette campagne de tests et mesures.

Personnel DT impliqué :

Christophe Guillerm

Michel Calzas

Publications ou posters :

- « The new SUBGLACIOR drilling probe », présentation de O. Alemany, LIA Vostok, Saint-Petersbourg, 2015.
- « The SUBGLACIOR sample handling line », poster de J. Triest lors du meeting IPICS 2016 organisé à Hobart (Tasmanie, NZ).

- « The SUBGLACIOR drilling probe », poster de O. Alemany lors du meeting IPICS 2016 organisé à Hobart (Tasmanie, NZ).
- « The SUBGLACIOR drilling probe », présentation de O. Alemany lors du European Driller Workshop à Bermerhaven (Allemagne), 2016.

Contact :

christophe.guillerm@cnr.fr



Figure 218 : Carte de gestion de la température



Figure 219 : Sonde montée à la verticale au Dôme C

2.55. THEMIS OA

Laboratoire demandeur : Télescope THEMIS.

Chercheur responsable : Bernard Gelly.

2.55.1. Objectifs scientifiques

Il s'agit d'une opération de jouvence du télescope solaire THEMIS, financée sur des crédits européens sur la période 2013-2016. L'objectif principal est d'équiper le télescope d'un dispositif d'optique adaptative (OA) pour corriger les effets de la turbulence atmosphérique sur le site de l'Observatoire du Teide (îles Canaries), tout en gardant au télescope sa fonctionnalité de spectro-polarimétrie et de détermination des champs magnétiques solaires. Les bénéfices attendus en imagerie de la surface solaire sont très importants. Concernant la spectro-polarimétrie, utilisant un spectrographe à longue fente, les bénéfices sont actuellement brillamment démontrés par nos collègues allemands avec leur nouveau télescope de 1,5 m. THEMIS équipé d'une optique adaptative redevient un télescope de premier rang mondial.

2.55.2. Description technique

Pour y parvenir, il faut :

- La création d'un séparateur / antiséparateur de faisceau qui conserve le principe actuel, qui est excellent, en supprimant le problème de limitation de champ.
- L'emploi de ce nouvel antiséparateur oblige à garantir un transport des faisceaux libre de toute polarisation instrumentale parasite. Il faut donc revoir l'optique de transfert actuelle.
- La création d'un banc d'OA en remplacement du banc de tip-tilt actuel, avec des spécifications de stabilité temporelle adaptées aux besoins de la polarimétrie.
- La création d'un dispositif de balayage en aval de la correction d'OA.

De manière simplifiée, l'optique de transfert du télescope se composait des miroirs M3, M4, M5 et un rotateur. Le besoin est de remplacer le M3, de doubler M4 en M4-1 et M4-2, doubler M5 en M5-1 et M5-2 ainsi que de changer le rotateur.

La stabilité demandée par rapport à l'axe d'élévation est de 5 secondes d'arc entre M4_2 et M5_1.

2.55.1. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

La DT a tout d'abord refait la CAO du télescope qui n'existait pas. Seuls des plans étaient disponibles.

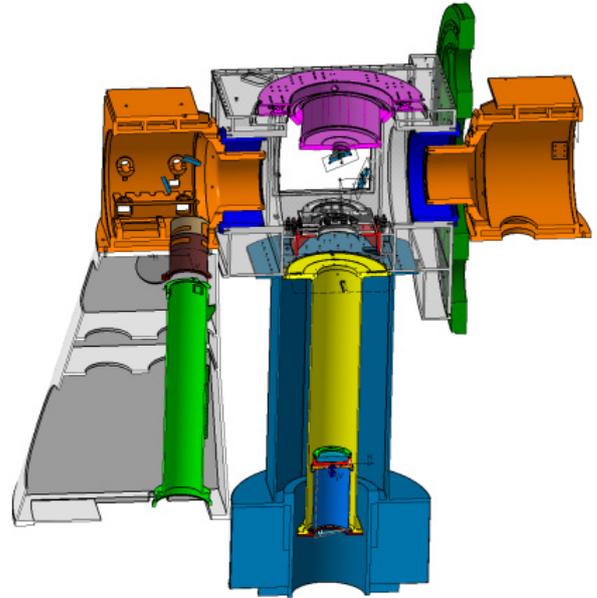


Figure 220 : Vue en coupe de la CAO du télescope

Nous avons ensuite fait des mesures in-situ pour vérifier la géométrie de l'environnement des optiques.



Figure 221 : Prise de mesures dans la structure du télescope

Nous avons conçu, réalisé et intégré le portage du train de 5 miroirs qui se trouvent tous dans le trajet optique principal du télescope, pouvant donc prendre des orientations spatiales variables au cours de la journée.

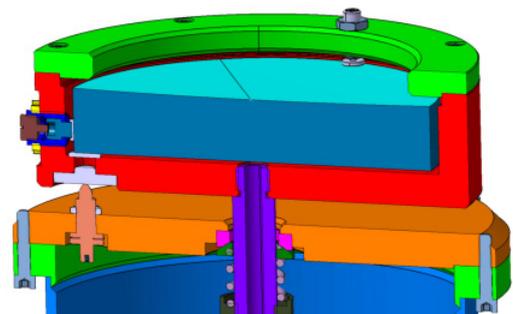


Figure 222 : CAO du miroir M3

Le miroir M3 a été livré mi 2016.

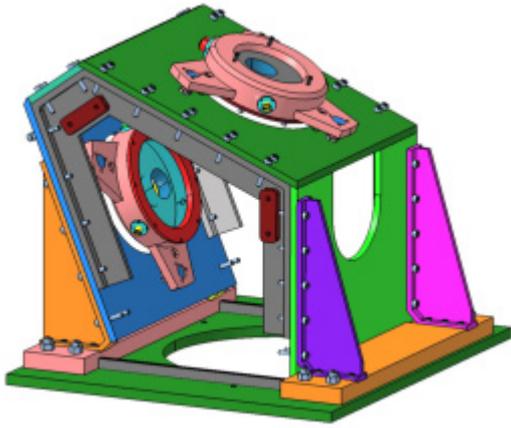


Figure 223 : CAO de l'ensemble M4

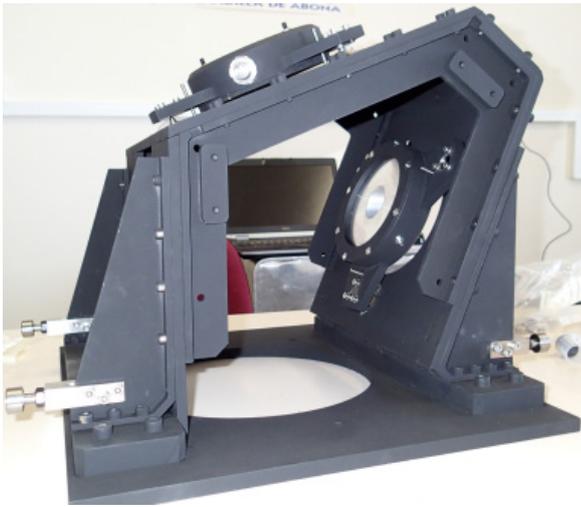


Figure 224 : Réalisation de l'ensemble M4



Figure 225 : Réalisation de l'ensemble M5

Les M4-M4' et M5-M5' ont été livrés, montés et préréglés en fin 2016.

La DT a également conçu, réalisé et intégré le portage du dérotateur de faisceau servant à stabiliser l'image en rotation devant la fente d'entrée du spectrographe. Le rotateur existant était insuffisant optiquement et marginalement suffisant mécaniquement. Le support a été livré fin 2017.

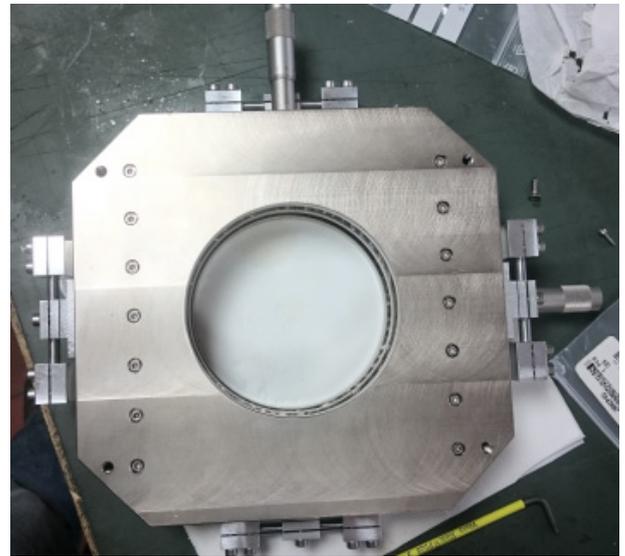


Figure 226 : Fabrication du support du dérotateur

Nous avons également conçu et réalisé en impression 3D le carter du dérotateur.

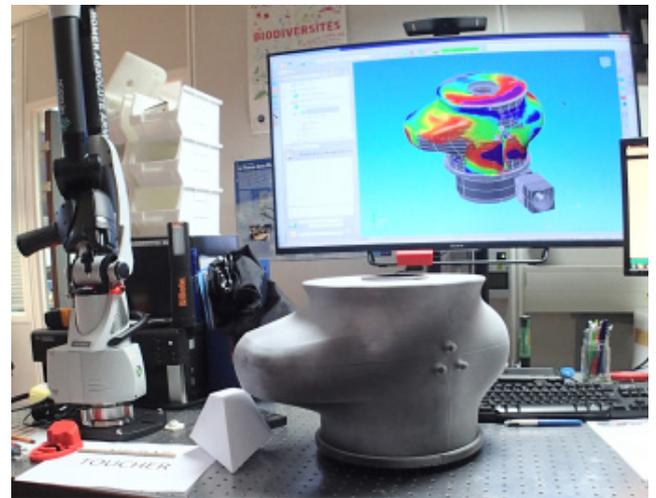


Figure 227 : Contrôle de la géométrie du carter

Personnel DT impliqué :

Nicolas Geyskens, conception mécanique et chef de projet.

Guillaume Lorgeoux, conception mécanique.

Tamatéa Russello, conception mécanique.

Christophe Berthod, simulations numériques.

Benoit Lemaire et Aurélien Cléménçon, réalisation, contrôle, assemblage et intégration.

Contact :

nicolas.geyskens@cnr.fr

2.56. TRANSMED

<http://www.ifremer.fr/transmed/>

Laboratoire demandeur : MIO.

Chercheur : Isabelle Taupier-Letage.

2.56.1. Objectifs scientifiques

Le but du programme TRANSMED est de développer un réseau de navires d'opportunités sur des routes régulières pour monitorer à faible coût les eaux de surface en Méditerranée en utilisant des systèmes autonomes pour mesurer les paramètres de base que sont la température (Sea Surface Temperature) et la salinité de surface (Sea Surface Salinity).

2.56.2. Description technique

Il s'agissait de réaliser un thermosalinomètre autonome embarqué sur des navires d'opportunité. Le système est constitué d'un thermosalinomètre, d'une pompe d'eau de mer sur une prise d'eau de mer du bateau et d'un système informatique (Linux) pour piloter le système.

Les fonctions du logiciel installé sur le système sont le pilotage de la pompe, l'acquisition des données et l'envoi des données. Un accès 3G/4G permet la télémaintenance pour diagnostiquer des pannes ou pour modifier des configurations.

Les données sont envoyées en temps réel en utilisant le système de communication par satellite du navire. A terre, ces données sont transmises en temps réel au centre de données national CORIOLIS.

Une application web permet de vérifier le bon fonctionnement du système sur chaque navire.

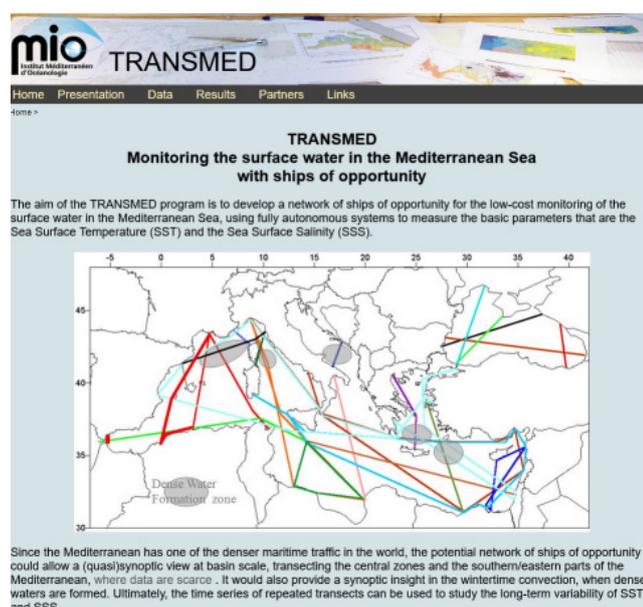


Figure 228 : Page web de TRANSMED

2.56.3. Activités, campagnes, déploiement ou expériences

La DT a contribué à :

- L'étude, le développement et la maintenance du système informatique.
- Le support pour l'installation du système sur de nouvelles lignes.

Les autres tâches (mécanique, électrique, ...) ont été assurées par le laboratoire demandeur.

Le système a été mis en place sur trois navires.

Le planning a été le suivant :

- 2012 : développement du système informatique.
- 2013-2014 : installations sur de nouvelles lignes.
- 2015 : améliorations de l'application web de monitoring et installation sur de nouvelles lignes.
- 2016 : aide ponctuelle en cas de panne du système.
- 2018 : mise à jour matérielle du système informatique pour remplacer le PC durci par un Linux embarqué type Raspberry Pi.

Publications ou posters :

Données TRANSMED utilisées dans les publications :

- Olmedo E., Taupier-Letage I., Turiel A and Alvera-Azcarate A. « Improving SMOS Sea Surface Salinity in the Western Mediterranean Sea through Multivariate and Multifractal Analysis ». *Remote Sens.* 2018, 10(3), 485, <https://doi.org/10.3390/rs10030485>
- Sauvage C., Lebeaupin Brossier C., Ducrocq V., Bouin M-N., Vincendon B., Verdecchia M., Taupier-Letage I., Orain F. « Impact of the representation of the freshwater river input in the Western Mediterranean Sea ». *Ocean Modelling*, 2018, 131, 115-131. DOI : 10.1016/j.ocemod.2018.09.005.
- Tang W. et al. « Validating Sth in situ measurements ». *Remote Sensing of Environment*, 2017, 200, pp. 326 340. DOI : 10.1016/j.rse.2017.08.021.

Communications internationales :

- J. Beuvier, I. Taupier-Letage, J-L. Fuda, M. Drévuillon, Y. Drillet. « Spatio-temporal variability of SSS and SST in the western Mediterranean basin with the TRANSMED

data ». 42th CIESM Congress, Cascais (Portugal), 2019.

- Taupier-Letage I. and Fuda J-L. « How big is the effort requested to monitor the Atlantic Water entering the Mediterranean? ». Poster at HyMeX 12th international workshop, Split (Croatia), May 2019.
- Olmedo E., Alvera-Azcárate A., Turiel A. and Taupier-Letage I. « Enhanced SMOS Sea Surface Salinity in the Western Mediterranean Sea: accuracy and mesoscale structures description ». Geophysical Research Abstracts, vol. 20, EGU2018-7919, 2018.

Communications nationales :

- Taupier-Letage I., Fuda J-L. « TRANSMED : Séries temporelles de SSS et SST à travers le Bassin Occidental de la Méditerranée depuis 2012 : quelles leçons, quel avenir ? ». Journées Scientifiques LEFE/GMMC 2019, Toulon, juin 2019.

Rapport de stage de Julien Moreso.

Personnel DT impliqué :

Karim Bernardet.

Elodie Godinho.

Zouhir Hafidi.

Contact :

Isabelle Taupier-Letage (MIO),

isabelle.taupier.letage@ifremer

2.57. VEMO

Etablissement demandeur : LATMOS.

Demandeur : Gabriel Guignan, ingénieur système.

2.57.1. Objectifs scientifiques

La mission spatiale EnVision, candidate à l'appel d'offre ESA/M5, est conçue pour répondre aux questions que se posent les chercheurs sur les structures géologiques de la planète Vénus. Le projet vise à effectuer une cartographie de l'émissivité de la surface dans le proche infrarouge à l'aide de l'imageur optique VenSpec.

2.57.2. Description technique

Le sous-système optique VEMO intégré à VenSpec consiste en un objectif télécentrique constitué de barillets et de lentilles, effectuant l'image de Vénus sur un plan intermédiaire où est placé un filtre multispectral.

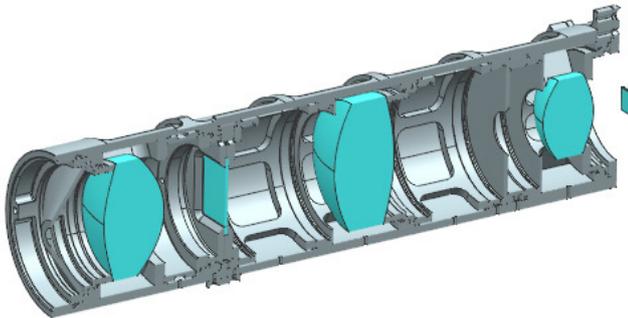


Figure 229 : Vue en coupe du design de l'instrument VEMO

2.57.3. Activités de la DT

En 2018, une analyse thermo-élastique préliminaire de VEMO a été réalisée à partir de la géométrie la plus récente (configuration 4), avec comme hypothèse une structure globale considérée non contrainte (libre-libre).

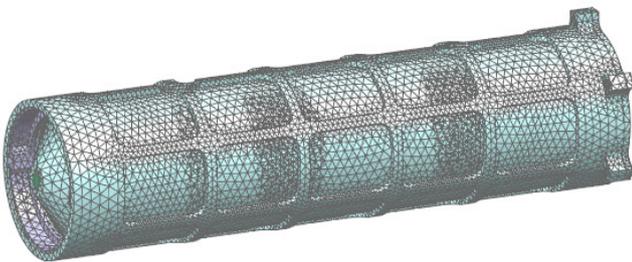


Figure 230 : Modèle éléments finis de VEMO

Les calculs ont été effectués dans les conditions opérationnelles d'une variation de température de +2°C, +5°C et +10°C. Les translations et les rotations de la pupille d'entrée, des faces des 3 lentilles, du filtre et du plan focal ont été obtenus. Avec ces résultats, on a pu en déduire la dilatation axiale entre chaque composant optique, aboutissant ainsi à des

valeurs cohérentes avec les premiers calculs analytiques effectués au LATMOS.

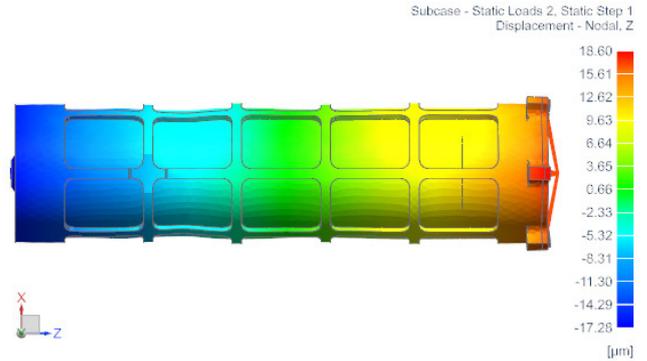


Figure 231 : Déplacements des nœuds dans le cas $\Delta T=+5^\circ\text{C}$

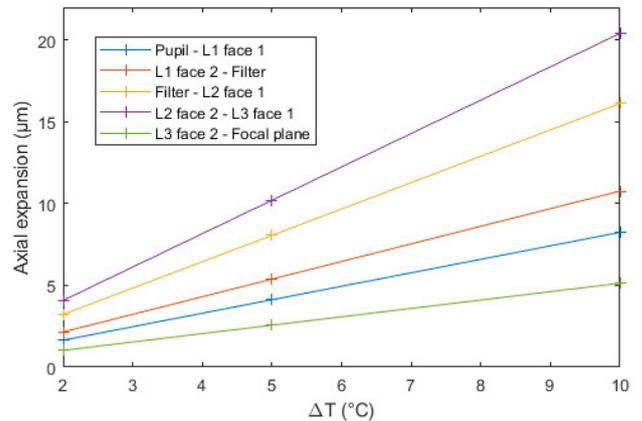


Figure 232 : Variation des dilatations axiales en fonction de la variation de température

2.57.4. Perspectives

Dans un second temps, il était prévu d'améliorer la modélisation en prenant en compte des conditions de glissement des lentilles et en évaluant les contraintes au point de contact des lentilles avec leurs cales.

Mais le développement technique de VEMO a été transféré fin 2018 au LESIA, qui a donc pris à son compte la responsabilité des simulations thermiques. Le soutien de la DT a alors pris fin après la rédaction d'un rapport fourni au LATMOS.

Personnel DT impliqué :

Christophe Berthod, modélisation, calculs de structure.

Contact :

christophe.berthod@cnr.fr

3. Les parcs

3.1. La flotte du CNRS

3.1.1. Objectifs scientifiques

La flotte 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 de tous les océans et mers du globe, hors zone polaire, aux activités de recherche. Les navires côtiers et ceux 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. La TGIR FOF 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 est créée, commune au CNRS, à l'Ifremer, à l'IPEV et à l'IRD. Elle assure 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 s'est mise en place. Constitué de représentants du CNRS, de l'Ifremer, de l'IRD et du réseau des universités marines, le Comité Directeur s'est réuni à quatre reprises, et les commissions nationales d'évaluation des flottes hauturière et côtière ont été renouvelées pour 4 ans. Le Conseil Scientifique de la TGIR a été constitué : il a été ouvert à l'international et a tenu sa première réunion en décembre.

3.1.2. Description technique

La flotte du CNRS opérée par la Division Technique de l'INSU est composée de :

Deux navires côtiers (ou de façade) : Le Téthys II et le Côtes de la Manche.

Les navires côtiers utilisés en Manche-Atlantique et en Méditerranée permettent la réalisation de campagnes scientifiques nombreuses et variées avec

une capacité à assurer un continuum de moyens entre le littoral et la haute mer.



Figure 233 : Navire de façade Côtes de la Manche en rade de Brest

Sept navires de station : Antédon II (Marseille), Sépia II (Wimereux), Néréis (Port Vendres), Néomysis (Roscoff), Albert Lucas (Brest), Planula IV (Arcachon), Sagitta III (Villefranche sur mer).

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.



Figure 234 : Navire de station Néomysis au large de Roscoff

3.1.3. Activités des navires

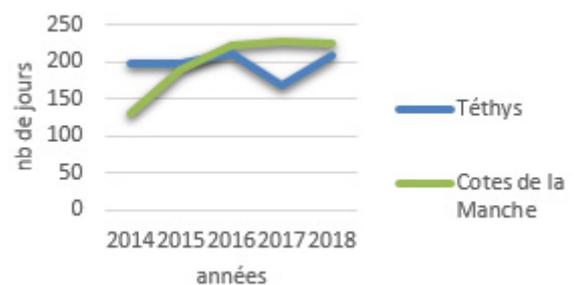


Figure 235 : Nombre de jours de mission scientifique



Figure 236 : Mission de récupération d'un ballon sur le Côtes de la Manche au large de Bayonne

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 affirmé 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 2014 – 2019 sont le remplacement du Sagitta II par une unité neuve, la Sagitta III, dont le coût avoisine les 950 k€ et la confirmation et sanctuarisation du budget de 1 M€ pour le futur remplacement du Sépia II à Boulogne programmé sur la prochaine période triennale.

Site web de la FOF :

<http://www.flotteoceanographique.fr>

Publications :

Lien vers les publications :

<https://www.flotteoceanographique.fr/Nous-connaître/Rapports-et-publications/Publications>

Personnel DT impliqué :

- Un capitaine d'armement responsable de la gestion technique et administrative des navires et des équipages.
- Un ingénieur d'armement responsable du suivi technique et de la maintenance des navires.
- Environ 50 marins embarqués.
- Une cellule administrative composée de 3 gestionnaires dédiées également à la gestion administrative du site de la Division Technique dans son intégralité.
- Le service instrumentation du site de la Seyne sur Mer en charge de la maintenance de l'instrumentation embarquée à bord des navires et du traitement et de l'archivage des données.
- Le service informatique de la DT en charge du système de communication des navires.

Contact :

Emmanuel Alessandrini, capitaine d'armement
emmanuel.alessandrini@cns.fr

3.2. L'instrumentation embarquée sur les navires

3.2.1. Contexte

Les navires de la DT sont équipés d'instruments scientifiques enregistrant en permanence des données physiques des océans. Le service « Instrumentation des navires » de la Division Technique de l'INSU a pour but d'une part de garantir le bon fonctionnement en continu de ces appareils, et d'autre part de traiter et mettre à disposition les données que les navires acquièrent.

3.2.2. Types d'instruments installés à bord des différents bateaux

Les thermosalinographes (TSG) :

De marque Seabird (4 SBE21 et 9 SBE45 pour les microTSG), ils sont équipés de capteurs de température et de conductivité, et reliés à une sonde déportée de température (13 SBE38) et à un fluorimètre (uniquement le Téthys II). Ces instruments mesurent les données de température et de salinité de surface pendant que le navire est en route.



Figure 237 : Thermosalinographe Seabird SBE21

En plus d'un entretien rigoureux, un TSG doit être régulièrement contrôlé et ré-étalonné afin de garantir la fiabilité de sa mesure. Dans ce but, les appareils sont envoyés en étalonnage après 12 mois de service en mer, et la dérive du capteur de conductivité est suivie grâce à des dosages de la salinité d'échantillons d'eau de mer prélevés à bord quotidiennement.

Le fluorimètre :

De la marque Turner Designs (10-AU-500), il est monté en flux continu sur le Téthys II, relié au TSG. En émettant de la lumière dans le vert, sa lampe excite les pigments contenus dans les cellules de phytoplancton et provoque leur fluorescence (émission d'une lumière dans le rouge). On peut ainsi

en déduire la concentration relative en pigment, notamment la chlorophylle A, de l'eau de mer, la mesure de la chlorophylle A étant utilisée comme indicateur de la biomasse phytoplanctonique dans les eaux naturelles. Etant un capteur optique, il nécessite un nettoyage fréquent de la cellule de mesure.



Figure 238 : Fluorimètre Turner Designs 10-AU-500

Le courantomètre de coque à double effet Doppler :

Le Téthys II et le Côtes de la Manche sont équipés de profileurs acoustiques de courant à effet Doppler (VmADCP) permettant la mesure en continu de profils de courant, c'est-à-dire de la vitesse de l'écoulement d'une colonne d'eau sur plusieurs couches d'épaisseur déterminée.

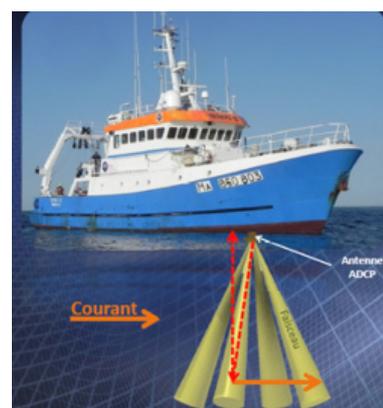


Figure 239 : Principe de fonctionnement du VmADCP embarqué sur le Téthys II

Le Téthys II est équipé d'un Ocean Surveyor 75 kHz (RD Instruments) depuis janvier 2015, et le Côtes de la Manche est lui équipé d'un Ocean Surveyor 150 kHz (RD Instruments) depuis janvier 2010.

La particularité d'un ADCP embarqué tient à ce qu'il est en mouvement : la partie importante du traitement des données consistera à soustraire la vitesse du navire et à s'affranchir des perturbations causées par ses mouvements propres (roulis, tangage). Afin d'évaluer le mieux possible ces mouvements propres, les navires sont équipés de GPS 2 têtes dédiés (Hemisphere VS330) permettant de mesurer leur position, leur cap et leur attitude (roulis, tangage) très précisément. Les erreurs de mesure du cap et de l'alignement avec la base de l'ADCP doivent régulièrement être contrôlées.

Le câble électroporteur :

Il s'agit d'un câble en acier constitué en son centre d'une âme contenant plusieurs conducteurs. Il a pour fonction d'alimenter les appareils de mesure tout en acheminant les données vers la centrale d'acquisition.

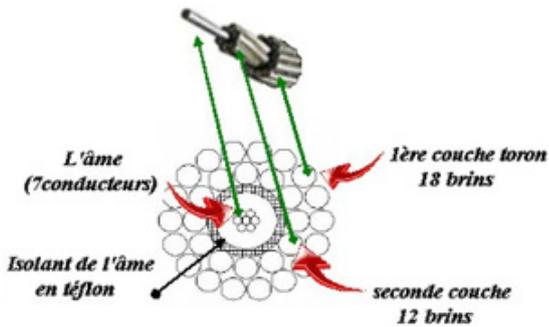


Figure 240 : Câble électroporteur embarqué typique

L'équipe instrumentation de la DT a en charge la formation des chefs mécaniciens qui doivent pouvoir effectuer la maintenance de ce câble (mesures de continuité, épissures, etc).

Le système de communication et d'acquisition des données :

En janvier 2015, l'ancien système COFIN/DAUFIN était encore en service sur le Côtes de la Manche et partiellement sur l'Antédon II. Sur le Téthys II, il a été remplacé à l'arrêt technique hivernal de 2014-2015.

Ce service permettait la communication bidirectionnelle entre la terre et les navires en utilisant une liaison hertzienne (mails, échanges limités de fichiers, navigation disponible pour les scientifiques). Ce système était conçu également pour permettre l'acquisition de données en provenance des différents capteurs du bord (navigation, météo et capteurs scientifiques). Pour mémoire, le volume global de ces capteurs n'excède pas 1 Mo/24h par navire hors ADCP. Ce système était obsolète et a donc été remplacé (voir plus loin).

3.2.3. Objectifs de la période 2015-2019

- Maintenance préventive et curative des instruments.
- Refonte du système d'acquisition et de communication des données.
- Mise à disposition des données fiabilisées et actualisées.
- Mise en production du nouveau VmADCP du Téthys II.
- Implication et formation des équipages dans la mise en œuvre et le suivi des instruments.
- Passation des navires de façade (Téthys II et Côtes de la Manche) à Genavir fin 2019.

3.2.4. Avancement et réalisation

Maintenance préventive et curative des instruments :

Afin d'améliorer la qualité et l'efficacité des interventions, nous avons entrepris plusieurs actions telles que l'homogénéisation des procédures d'intervention et la mise en place d'une gestion électronique de la maintenance et de tous les documents associés. Un partenariat avec le service informatique a permis le développement et le déploiement d'une application de gestion de la maintenance. Cet outil permet la gestion quotidienne des instruments, la mise en place d'alertes et la gestion des documents associés.

Refonte totale du système d'acquisition et de communication :

Le service informatique a mis en place sur le Téthys II courant 2014, puis sur le Côtes de la Manche en janvier 2018, un nouveau système de communication par satellite de type VSAT. Une nouvelle infrastructure informatique a alors été déployée, elle permet notamment la mise à disposition de machines virtuelles (VM) pour les utilisateurs.

Ainsi, le service instrumentation a pu moderniser et simplifier la partie instrumentale du navire. Les instruments sont dorénavant accessibles via le réseau Ethernet du navire. Les données sont acquises à l'aide de machines virtuelles dédiées permettant aussi leur stockage et leur mise à disposition, via la liaison satellite, à des serveurs à terre.

Cette nouvelle infrastructure permet aussi la prise de contrôle à distance de l'installation. Ceci nous permet, en cas de panne, d'effectuer plus rapidement les diagnostics et dépannages sur nos systèmes. La maintenance des systèmes en est donc grandement améliorée.

Sur les navires de station, une version simplifiée (routeur 4G à la place du VSAT) a été déployée entre 2013 et 2016. Le contrôle à distance se fait ici aussi via la solution Bomgar et la récupération quotidienne de données est automatisée via un tunnel vers un serveur à La Seyne sur Mer.

Dans le même temps la Sagitta III, l'Antédon II, la Néréis II et la Sépia II ont été équipés comme l'Albert Lucas et la Néomysis d'un ensemble d'instruments (TSG et sonde de température déportée). Le système informatique (PC, réseau interne) a été rénové sur les deux navires bretons et installé sur les autres. L'acquisition des données est pilotée par un soft développé par l'équipe. Le fonctionnement repose ici aussi sur un réseau Ethernet interne, avec production d'un fichier journalier au format Coriolis et affichage

en temps réel des valeurs mesurées pour les scientifiques.

Mise à disposition des données fiabilisées et actualisées :

Les données d'hydrologie et de météo sont collectées automatiquement et quotidiennement sur tous les navires, et synchronisées sur un serveur à terre. De là, elles sont mises au format Colcor et envoyées par mail automatisé à la base de données Coriolis (base de données nationale pour l'océanographie opérationnelle). Elles sont de plus vérifiées par un agent afin d'être mises à la disposition des scientifiques qui en font la demande par mail.

Les données issues des VmADCP ne sont disponibles que sur demande, car elles nécessitent un traitement à terre par un ensemble de scripts sous Matlab (ensemble nommé « *SAVED* », comme le site internet sur lequel les données disponibles sont présentées). L'ensemble des formats de nos données (fichiers netcdf Oceansite pour les ADCP, fichiers Colcor pour T et S) correspondent à des standards internationaux.

Les missions d'océanographie physico-chimique (de recherche ou d'enseignement) sont nombreuses sur le *Téthys II* : en moyenne 65% des missions programmées (soit environ 200 jours). Et 50% des missions ont demandé la possibilité d'utiliser le VmADCP. Cela sans compter les valorisations postérieures des transits ou des missions n'exploitant pas a priori ces données durant la mission.

Enfin le service Instrumentation est prêt (depuis 2013) pour l'intégration systématique des données de courantologie des navires *Téthys II* et *Côtes de la Manche* dans une base de données adéquate.



Figure 241 : Travaux de remplacement de l'ADCP du *Téthys II*

Mise en production du nouveau VmADCP du *Téthys II* :

Au cours de l'arrêt technique de début 2015, un courantomètre de coque de marque RD Instruments, modèle Ocean Surveyor 75 (75 kHz) a été installé sur le navire afin de procéder à la jouvence du VmADCP précédent datant de 1997.

Notre équipe a participé à sa recette en janvier 2015, puis s'est chargée de son suivi et de sa maintenance. La qualité de la procédure d'installation et les spécificités de ses mesures ont valu à un agent d'être invité par le constructeur à les présenter à un colloque à San Diego en octobre 2015.

Implication et formation des équipages dans la mise en œuvre et le suivi des instruments :

Pour fiabiliser les données acquises sur les navires de station, des procédures ont été confiées aux marins : l'entretien trimestriel des instruments, ainsi que le prélèvement d'échantillons pour le dosage de salinité (partenariat avec le SHOM dans le cadre de Coriolis).

Passation des navires de façade (*Téthys II* et *Côtes de la Manche*) à Genavir au 31/12/2019 :

En 2017, l'équipe a été informée de la décision ministérielle de passer l'armement et la propriété des deux navires de 25 m à Genavir pour Ifremer.

Dès septembre 2019, une fois la date de la passation arrêtée au 01/01/2020, des réunions ont eu lieu pour transmettre toutes les informations nécessaires au personnel Genavir. Une demande de soutien a été faite en interne pour travailler sur une exportation du contenu de la base de maintenance afin de transmettre les historiques.

Après inventaire, les spares des appareils montés sur les navires ont été confiés à Genavir. Pendant les premiers mois de 2020, un agent du service assure la liaison avec les électroniciens de bord afin de faciliter la transition.

Personnel DT impliqué :

Carl Gojak : chef de service (depuis 01/07/2018).

Lionel Fichen : maintenance et mise en œuvre des instruments (jusqu'au 30/06/2018).

Céline Laus Heyndrickx : maintenance et mise en œuvre des instruments, traitement des données, gestion des ADCP, transmission à Genavir.

Frédéric Le Moal : maintenance et mise en œuvre des instruments (jusqu'au 30/06/2018).

Emmanuel Alessandrini : chef de service (jusqu'au 30/06/2018).

Karim Mahiouz : intégration et conception mécanique des améliorations.

Contact :

carl.gojak@cnr.fr

3.3. Le parc national d'instrumentation océanographique

3.3.1. Introduction

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

- Lionel Fichen
- Lionel Scouarnec
- Fabien Pérault
- Olivier Desprez de Gésincourt
- Emmanuel de Saint-Léger
- Arnaud Le Ridant (arrivé à l'été 2018)

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.

3.3.2. 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,
- Carottages avec un carottier multitube et un kullenberg notamment.

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 de la DT INSU,

ainsi que la charte d'emprunt fixant les conditions d'utilisation :

<http://www.dt.insu.cnrs.fr/spip.php?article6>



Figure 242 : Hangar de stockage à l'IPEV

Entre 2015 et 2019, 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€	2015	2016	2017	2018	2019
Bouteilles de prélèvement	29	0	0	12	33
Courantométrie	62	81	85	48	17
Capteurs CTD	38	19	17	56	84
Capteurs autonomes	40	12	72	50	21
Matériel de repérage	12	9	10	0	11
Largueurs	40	53	0	0	0
Pompe in-situ	0	0	44	0	120
Sédimentologie	0	0	2	8	0
Flottabilité	17	18	15	30	8
Caisses transport	0	10	2	12	1
Capteur turbulence	0	0	0	63	0
Container chimie propre	0	0	0	0	65
Divers	2	3	9	16	15
Totaux	240	205	256	295	375

3.3.3. Missions réalisées

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

	2015	2016	2017	2018	2019
Campagnes hauturières	6	8	6	6	10
Campagnes côtières	20	12	19	21	12
Nombre de jours en mer	117	62	15	7	4

3.3.4. Développement

Afin de mener à bien des vérifications rapides de l'état des capteurs autonomes du parc, un bassin d'inter-comparaison a été développé. Le cahier des charges établi en vue de la réalisation de cet outil intégrait la possibilité de mettre simultanément dans un même bain des capteurs de référence et d'autres à tester afin de prioriser les besoins d'étalonnage et de planifier leur utilisation. Ce travail a été mené à bien entre 2015 et 2017. Depuis, cet outil est utilisé en interne pour évaluer les dérives des capteurs par rapport à des étalons. Il est également sollicité pour faire le même type de vérification en mer dès la récupération des instruments.

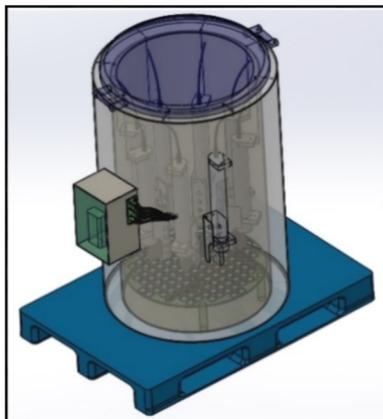
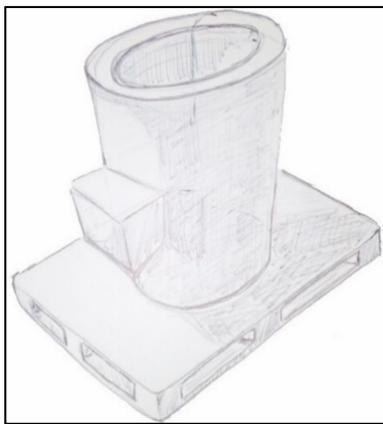


Figure 243 : De l'ébauche à la réalisation

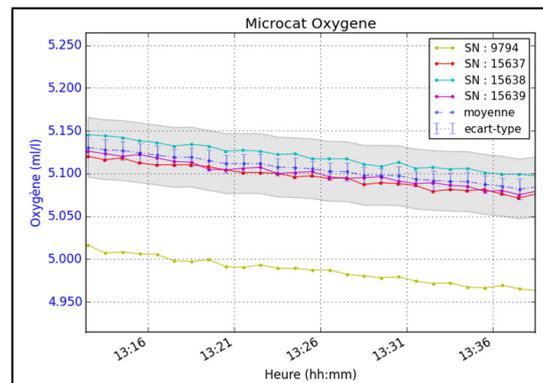
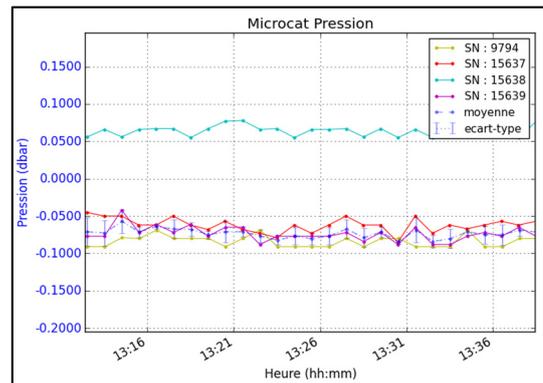
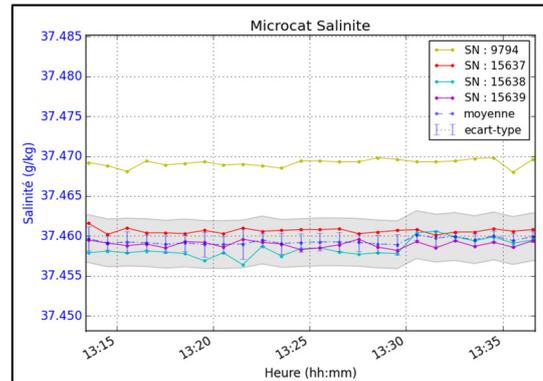
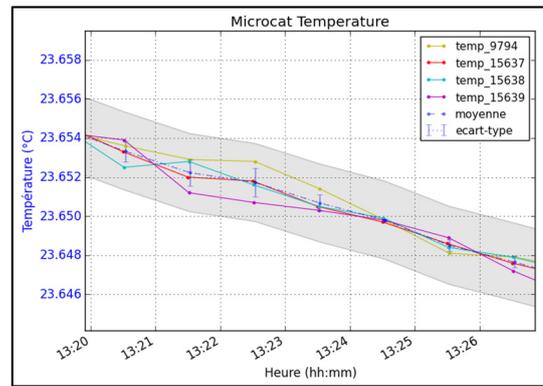


Figure 244 : Exemples de dérives observées grâce à la cuve d'inter-comparaison

3.3.5. Quelques projets significatifs

En 2015

CASSIOPEE

La circulation océanique du Pacifique sud redistribue l'eau de la grande gyre subtropicale vers l'équateur par un cheminement vers l'ouest dans le courant équatorial sud, dont une grande partie entre en mer

de Corail et longe la côte pour rejoindre l'équateur. Le projet Solwara permet de coordonner différentes études sur la mer de Corail et la mer des Salomon, caractérisant la circulation, les masses d'eau et leurs propriétés physiques et géochimiques à partir de données courantométriques, climatologiques, de campagnes à la mer ou de gliders, de modélisation numérique haute résolution et d'altimétrie satellitaire.

La campagne CASSIOPEE a permis d'obtenir des mesures en mer des Salomon via une centaine de profils CTD et la récupération de 4 lignes de mouillage très instrumentées (courantomètres, capteurs de température, conductivité). L'équipe du parc a conçu ces 4 lignes de mouillage qui ont été validées par des simulateurs et d'autres experts de la communauté océanographique (chaque ligne représente un budget de 200 k€ de matériel).

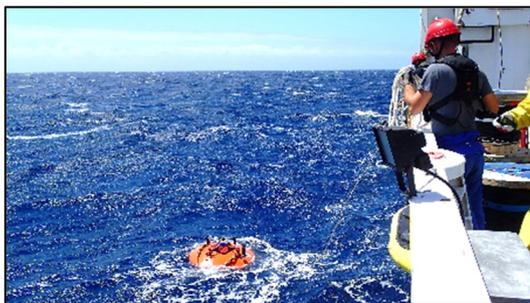


Figure 246 : Récupération de mouillage lors de CASSIOPEE

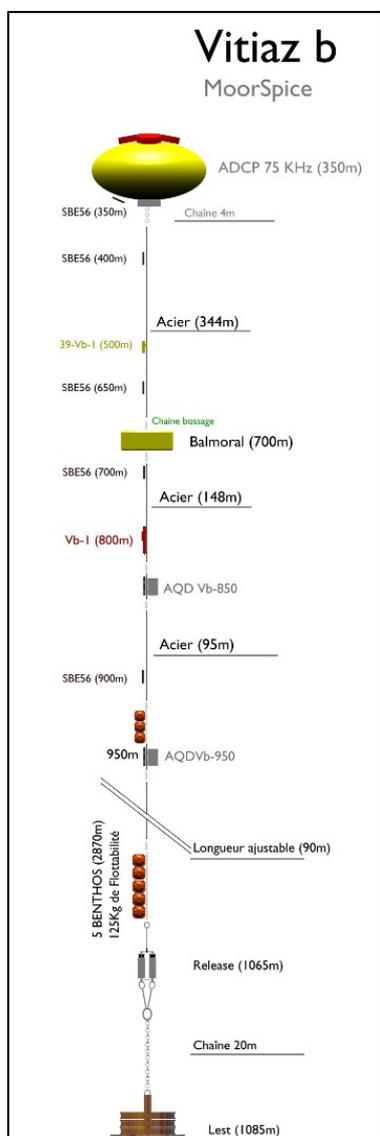


Figure 245 : Un mouillage réalisé pour CASSIOPEE

OUTPACE

Le projet OUTPACE a pour objectif de caractériser la diversité biogéochimique et biologique dans le Pacifique sud-ouest, d'étudier comment la production, la minéralisation et l'export de matière organique dépendent de la fixation de diazote dans des régions oligotrophes contrastées et de représenter les majeurs biogéochimiques et la dynamique du réseau trophique planctonique.

La campagne qui s'est déroulée en février et mars 2015 a permis de réaliser plus de 160 profils CTD à l'aide d'une rosette classique et plus de 40 profils avec une rosette propre pour l'analyse des métaux traces. En parallèle de ces mesures, des mouillages dérivants ont été déployés afin de collecter les particules présentes dans les masses d'eau et de caractériser la production primaire. Ces opérations étaient menées sous la responsabilité d'Olivier Desprez.

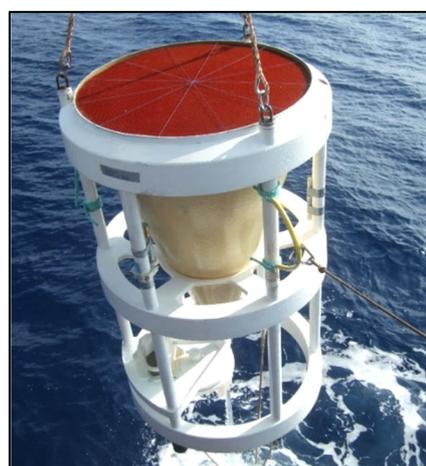


Figure 247 : Piège à sédiments déployé lors d'OUTPACE

En 2016

SOCLIM

L'activité du parc a consisté à concevoir des mouillages pour une mission aux îles Kerguelen dans le cadre du projet SOCLIM. Ce travail faisait suite à une demande de soutien intégrant également la réalisation des mouillages et la participation au déploiement.

Quatre mouillages ont été dimensionnés : deux mouillages pour le déploiement de pièges à sédiments, un mouillage équipé d'un profileur de courant (ADCP 75 kHz) et un mouillage multi-instrumenté, comprenant notamment un préleveur d'eau autonome (RAS500), des courantomètres ponctuels, une chaîne de capteurs de température / conductivité, des capteurs d'oxygène, de gaz dissous et de CO₂ (type Carioca, en collaboration avec la DT Meudon).

Pour ce dernier mouillage, les contraintes environnementales et la nécessité de placer les capteurs à une profondeur précise de 40 m sous la surface, ont conduit au développement d'une cage permettant d'accueillir les instruments les plus sensibles. La réalisation de cette cage a été soustraitée et finalisée début 2016 pour un déploiement en octobre 2016 et une récupération avec succès 6 mois plus tard.

Ce dispositif a permis d'acquérir pour la première fois 6 mois de données cruciales pour la compréhension du cycle du carbone dans l'océan Austral.

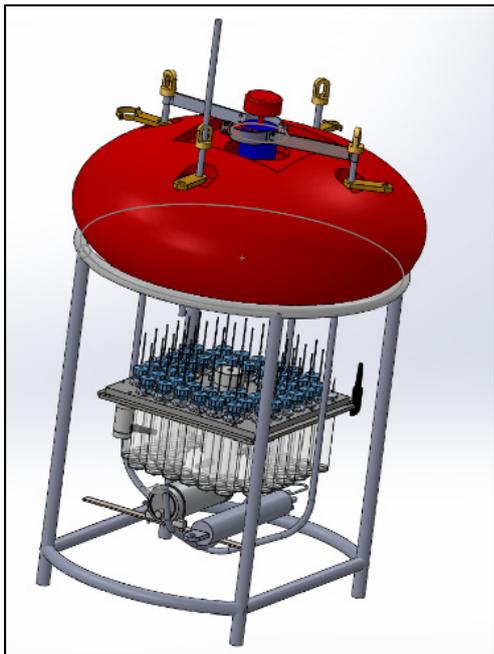


Figure 248 : Cage développée pour l'intégration d'un RAS500 dans le cadre de SOCLIM

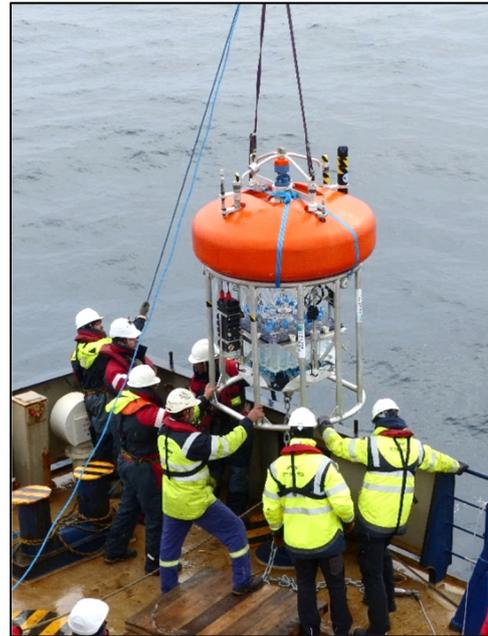


Figure 249 : Déploiement du mouillage RAS lors de SOCLIM sur le plateau des îles Kerguelen

En 2017

PEACETIME

La problématique de ce projet est centrée sur les échanges à l'interface océan-atmosphère qui sont cruciaux pour le climat, le changement climatique et pour les services fournis par les écosystèmes marins. La Méditerranée, un hot spot de la biodiversité, mais aussi du changement climatique, soumise à une pression anthropique croissante, constitue un laboratoire naturel idéal pour étudier ces échanges. L'objectif de PEACETIME est d'évaluer l'impact de ces mécanismes sur le fonctionnement des cycles biogéochimiques, l'écosystème pélagique et les rétroactions vers l'atmosphère aujourd'hui et dans le futur.

La demande de soutien à la Division Technique était relative à la conception, la réalisation, le déploiement et la récupération d'un mouillage dérivant pendant la campagne PEACETIME ainsi qu'à la préparation du matériel d'hydrologie (CTD et Trace Metal rosette).

Suite aux nombreux échanges avec les scientifiques et le personnel technique du projet, un design optimal du mouillage dérivant a pu être défini par l'équipe et la formation a permis de préciser les points clés du déploiement.

Finalement, la mission qui s'est déroulée en mai-juin 2017 a permis d'acquérir toutes les données scientifiques souhaitées avec trois déploiements du mouillage dérivant et plus de 3600 m³ d'eau prélevés avec les rosettes classiques et Trace Metal Clean. Cette campagne a donc été un succès.

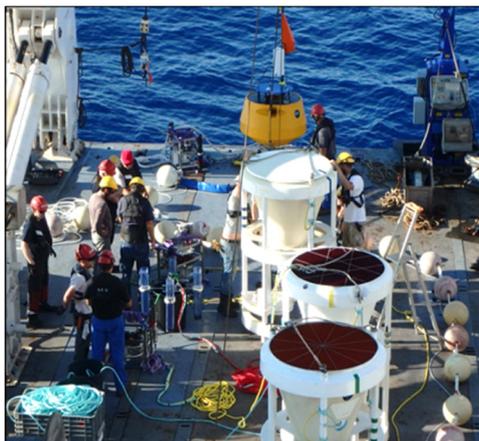


Figure 250 : Déploiement du mouillage dérivant dans le cadre du projet PEACETIME

CASSIS-MALVINAS

Les principaux objectifs du projet CASSIS (Courants de l'Atlantique Sud-ouest Satellite In-Situ) sont d'améliorer notre compréhension de la circulation du plateau continental de Patagonie, les dynamiques du principal courant limite ouest, le courant des Malouines et les interactions entre elles. En plus d'avoir un intérêt scientifique, ces études ont également un impact économique important. Le plateau continental de Patagonie et le talus adjacent sont une des zones les plus productives de l'océan mondial. En outre, ces régions ont un impact significatif sur le bilan de CO₂ dans l'atmosphère et par conséquent des fluctuations potentielles peuvent influencer sur le climat. Ce projet est une initiative UMI-IFAECI, un institut franco-argentin créé le 1er janvier 2010. Pour ce projet, la DT a dimensionné et fourni le matériel pour 3 mouillages et le LOPS (UMR CNRS/IFREMER/IUEM) pour 4 châssis CIAM hors ADCP.

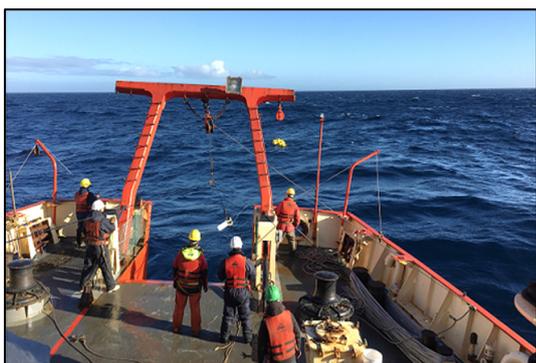


Figure 251 : Opération de récupération d'un mouillage à bord du navire des gardes côtes argentins Puerto Deseado

En 2018

MOBYDICK

L'activité du parc a consisté à préparer la mission de février-mars 2018 aux îles Kerguelen dans le cadre du projet MOBYDICK.

L'océan Austral est une région océanique sous-échantillonnée du fait de fortes contraintes logistiques inhérentes à l'organisation des campagnes océanographiques dans cette région éloignée, soumise à des conditions météorologiques difficiles. Aujourd'hui, cette région est pourtant reconnue par les programmes nationaux et internationaux comme une composante majeure du système Terre. Dans le contexte de la transition climatique en cours, liée à la question du CO₂, la réponse du système Terre est en grande partie contrôlée par la pompe biologique océanique de carbone, qui est responsable de l'établissement du gradient de pCO₂ entre l'atmosphère et les eaux de surface, tout en étant le seul mécanisme de séquestration du carbone à l'échelle géologique. Notre capacité à prédire le rôle futur de l'océan pour le cycle mondial du carbone et finalement pour le climat dépend donc de notre capacité à comprendre ce fonctionnement. Si nous voulons d'une part prédire et, d'autre part poser les bases de l'observation des changements en cours affectant les écosystèmes océaniques, il est essentiel de comprendre en profondeur les processus qui relient la biogéochimie et la biodiversité. C'est l'objectif ambitieux de MOBYDICK qui se propose de suivre le carbone depuis sa fixation initiale, son transfert et son recyclage au sein des réseaux trophiques, jusqu'à son exportation finale vers l'océan intérieur.

Le travail du parc océanographique s'est inscrit dans le cadre d'une demande de soutien qui intégrait également la participation au déploiement mais, en l'absence de personnel disponible pour embarquer, une part importante du travail a consisté à simplifier le matériel (pompes in-situ notamment) et sa mise en œuvre, puis à former les chercheurs à leur déploiement. Une part de la logistique était également gérée à Plouzané.



Figure 252 : Les pompes in-situ et leur protocole de déploiement ont été optimisés dans le cadre de MOBYDICK

Ecole SOLAS

L'école d'été de SOLAS est un événement biennal international qui rassemble des étudiants et des scientifiques internationaux, dans de nombreux

domaines, pour une alternance de conférences et d'ateliers pratiques. Elle vise à enseigner les compétences et les connaissances des nombreuses disciplines nécessaires pour comprendre la nature des interactions océan-atmosphère et comment lier les interactions océan-atmosphère avec le climat et les gens. Cette école d'été permet aux doctorants et chercheurs en début de carrière de voir comment leur travail s'inscrit dans la vaste toile de SOLAS et de la recherche mondiale plus généralement.

Dans le cadre de la septième édition, qui se déroulait en Corse, le parc a été impliqué dans la préparation du matériel nécessaire aux démonstrations pour les 64 étudiants participants. Le matériel demandé regroupait une CTD/rosette avec de nombreux capteurs auxiliaires (PAR, SPAR, fluorimètre, transmissiomètre, ISUS) et un salinomètre pour les analyses en laboratoire. Lionel Fichen a participé à l'ensemble des travaux pratiques embarqués à bord du Téthys II entre les 26 et 31 juillet afin de mettre en œuvre et d'expliquer le fonctionnement de la sonde CTD aux groupes d'étudiants.



Figure 253 : Travaux pratiques à bord du Téthys II lors de l'école d'été SOLAS 2018

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 parc océanographique a apporté son soutien au projet EMSO-MARMARA.

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 mer, la situation est plus difficile à appréhender car les stations sismiques sont trop éloignées de la faille en mer, à plus de 800 mètres de profondeur. Notamment, un segment situé au sud d'Istanbul n'a pas connu de séismes depuis des décennies. Correspondant à un gap sismique depuis 1766, cette portion de la faille nord-anatolienne, située à plusieurs dizaines de km d'Istanbul,

représente un des plus hauts risques sismiques et tsunamigéniques d'Europe. 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 2018 et 2019, Olivier Desprez de Gésincourt a participé à trois 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°. Tout le système est revenu à l'horizontal après le séisme et l'ensemble des capteurs a continué à fonctionner après cet événement.

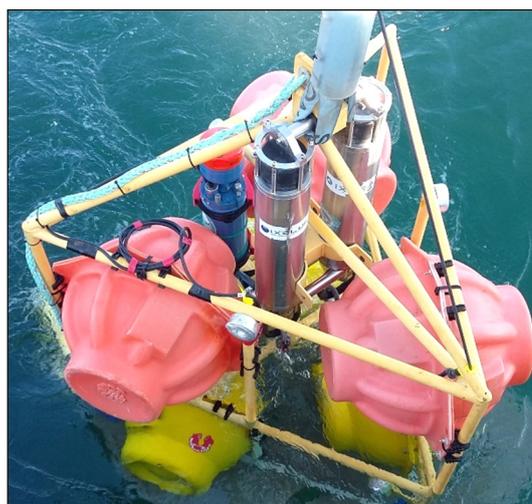


Figure 254 : Mise à l'eau de la cage de fond instrumentée au large d'Istanbul dans le cadre du projet EMSO-MARMARA

TONGA

Le projet TONGA (shallow hydroThermal sOurces of trace elemeNts: potential impacts on the bioloGicAl pump) est prévu sur 3 ans et est coporté par Cécile Guieu (LOV) et Sophie Bonnet (MIO).

L'objectif général de TONGA est d'étudier le couplage entre les apports issus de l'activité hydrothermale peu profonde dans le Pacifique sud-ouest avec les cycles biogéochimiques, la production, la minéralisation, et l'export. Une attention particulière est accordée à l'étude des effets positifs (fertilisation) vs négatif (toxicité) de ces apports sur la diversité et la dynamique des communautés planctoniques, en mettant en particulier l'accent sur la fixation du N₂. Dans cette vaste zone du sud-ouest Pacifique, la zone principalement ciblée correspond à la zone nord de l'Arc des Tonga (20-25 ° S).

Dans ce cadre, le parc océanographique de l'INSU est intervenu sur demande de soutien pour dimensionner les dispositifs expérimentaux, préparer les instruments et contribuer à la logistique de la campagne. En l'absence de personnel disponible pour embarquer sur la campagne, une formation a été organisée à Brest en avril 2019 pour permettre aux collègues de Villefranche et du MIO de prendre en charge le déploiement des instruments.

Notre intervention consistait notamment à préparer le système de prélèvement propre incluant la CTD/rosette Trace Metal Clean et l'adaptation du conteneur chimie propre prévu pour l'accueillir.

Le parc océanographique était également en charge de la préparation des bathysondes classiques (2 CTD/rosette), de tous les capteurs auxiliaires (fluorimètres, transmissiomètres, turbidimètres, capteurs de luminescence, de pH, d'oxydo-réduction...) permettant de suivre les panaches hydrothermaux.



Figure 255 : CTD/rosette Trace Metal Clean lors de son transfert à l'intérieur du conteneur chimie propre

Une autre part importante du travail s'est articulée autour du dimensionnement et de la réalisation de deux mouillages océanographiques, l'un dérivant et l'autre fixe, intégrant de nombreux équipements : pièges à sédiments, courantomètres, sondes CTD autonomes, etc.



Figure 256 : Déploiement d'un chapelet d'instruments sur le mouillage dérivant de la campagne TONGA

Enfin, nous avons également préparé le VMP-250, capteur de turbulence dédié à l'étude des microstructures à l'intérieur des masses d'eau.



Figure 257 : Déploiement du VMP lors de la campagne TONGA

Malgré des difficultés techniques rencontrées en début de campagne et la perte du VMP lors d'une manœuvre du navire, l'ensemble du matériel du parc océanographique de l'INSU a globalement donné satisfaction.

Contact :

emmanuel.desaint-leger@cnsr.fr

ups855.parcoceano@services.cnsr.fr

Contacts des parcs côtiers :

<http://www.dt.insu.cnsr.fr/spip.php?article49>

Liste des instruments du parc hauturier :

http://www.dt.insu.cnsr.fr/documents/parc_oceano/Liste_POH_web_2018.htm

Liste des instruments des parcs côtiers :

http://www.dt.insu.cnsr.fr/documents/parc_oceano/Liste_POC_web_2016.htm

Charte du parc océanographique :

<http://www.dt.insu.cnsr.fr/spip.php?article33>

3.4. Le parc national de planeurs sous-marins

3.4.1. 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.

3.4.2. Flotte

Le parc national des gliders, intégré à la DT-INSU, est localisé à La Seyne sur Mer.

La flotte est majoritairement composée de gliders **Slocum** (société Teledyne Webb Research). Le modèle hauturier permet des plongées jusqu'à 1000 m, alors que le modèle côtier, plus réactif et plus maniable, avec une profondeur maximale de 200 m est idéal pour les déploiements sur les plateaux peu profonds.



Figure 258 : Glider de type Slocum

Le **Seaglider** (société Kongsberg) est un glider hauturier (1000 m) qui a la particularité de consommer très peu d'énergie. Sa très grande autonomie permet de le déployer sur des missions de plusieurs mois (jusqu'à 8 mois).

Au départ, le **Spray** est un prototype développé par les chercheurs de l'Université de Scripps aux Etats-Unis. Quelques exemplaires ont été commercialisés par l'entreprise Bluefin Robotics pendant une très courte période. Aujourd'hui, il est utilisé surtout pour des essais ou des démonstrations.



Figure 259 : Glider de type Seaglider



Figure 260 : Glider de type Spray

Premier glider à batteries rechargeables, le **SeaExplorer** (société Alseamar) nécessite peu d'opérations de préparation en atelier. Après une recharge de batterie de 24 heures, il est prêt à repartir pour une mission de plusieurs semaines.



Figure 261 : Glider de type SeaExplorer

3.4.3. Bilan des déploiements

Bilan du nombre de jours en mer :

Année	Nb de jours en mer
2015	652
2016	620
2017	478
2018	328
2019	484

3.4.4. MOOSE

Laboratoire demandeur : LOCEAN-MIO-LOV.

Chercheurs : Pierre Testor, Laurent Coppola, Patrick Raimbault, Laurent Mortier.

L'objectif de MOOSE est le suivi des masses d'eau, de la circulation thermohaline et des flux de matière en Méditerranée nord occidentale. Les lignes de mouillage profondes constituent le socle de l'observation de MOOSE. Déjà en place depuis 2 à 10 ans selon les sites, elles permettent d'observer en continu l'océan profond, très peu étudié dans cette région de la Méditerranée.

Le réseau MOOSE maintient un système d'observations, multi-sites et intégré, destiné à suivre l'évolution du bassin nord-occidental de la Méditerranée (mer Ligure et Golfe du Lion) dans le contexte des changements globaux (climatique et d'origine anthropique). Il s'agit en particulier de mesurer les grandes tendances et les anomalies sur le long terme (>10 ans) caractérisant l'évolution de cette région marine retenue au niveau de la Directive Cadre Stratégie des Milieux Marins (DCSMM). Le but est de fournir les données nécessaires à la détermination des effets du changement climatique et ceux induits par les activités anthropiques en Méditerranée occidentale. Le but de MOOSE est aussi de renseigner certaines structures et certains processus peu, ou mal étudiés, et dont le rôle dans la dynamique de couplage physique/biogéochimique est fortement pressenti.

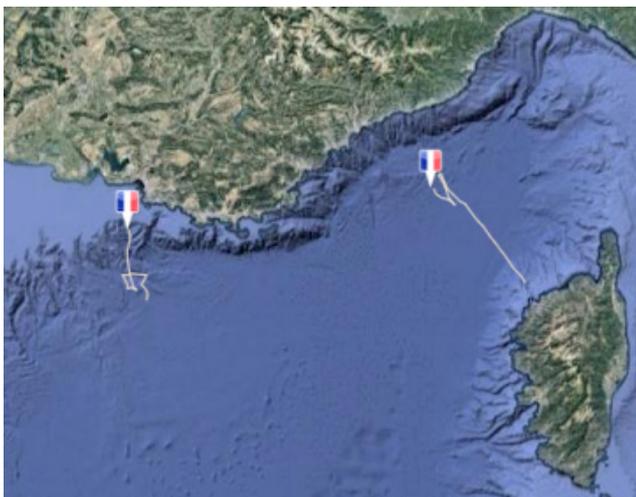


Figure 262 : Gliders déployés sur les deux radiales MOOSE

Les déploiements de gliders ont démarré en 2008 pour assurer l'observation de deux radiales (Nice-Calvi et Marseille-Minorque) dans le cadre du programme MOOSE. Ces deux radiales sont assurées par le parc depuis sa création et sont répétées chaque année.



Figure 263 : Déploiement du glider au large de Nice

3.4.5. TAIGA - INTAROS - VIRGIL

Laboratoire demandeur : LOCEAN.

Chercheur : Marie-Noëlle Houssais.

Un des enjeux du projet TAIGA est de mieux comprendre la dynamique de la veine d'eau Atlantique qui conditionne le transport de chaleur océanique vers l'Arctique et son impact sur la banquise notamment au nord du Svalbard. Le projet repose sur une composante modélisation haute résolution et un volet observations (gliders, mouillages, campagnes CTD) autour du Svalbard (détroit de Fram et pente nord Svalbard). Cette région est en effet une région clé vis-à-vis de la circulation de l'eau Atlantique et de son devenir vers l'Arctique du fait de la structure particulièrement complexe de la circulation (courant de pente, recirculations, bifurcations), y compris à moyenne échelle (méandres, tourbillons). Dans le cadre du projet INTAROS, elle a été sélectionnée pour y mener un programme d'observation intensif pluriannuel dans lequel le bénéfice d'observations de fine échelle par gliders apparaissait particulièrement évident.



Figure 264 : Tests fonctionnels sur le quai de Loneyarbyen

Le parc des gliders avait déjà déployé un glider en 2017. En 2018, deux déploiements ont dû être annulés suite à des problèmes techniques. En 2019, un seul des deux gliders déployés a pu finir sa mission.

La demande d'étude de cette zone a été renouvelée plusieurs fois et l'intérêt scientifique pour l'étude des zones polaires avec des gliders est grandissant.

Néanmoins, l'expérience nous a montré que pour pouvoir faire des déploiements, nous avons besoin d'investir dans des instruments plus adaptés aux zones polaires, et nous devons prendre le temps de faire des tests et des essais en mer, même en Méditerranée.

3.4.6. METPAG

Laboratoire demandeur : Cefrem.

Chercheur : François Bourrin.

Depuis quelques années, les gliders côtiers équipés de charges optiques ont été déployés avec succès en domaine côtier (30-200 m) afin de caractériser la concentration et les flux de matières en suspension lors des épisodes de crues et de tempêtes. Ce projet a pour but d'intégrer un capteur de mesure directe de la taille des particules en suspension afin de mieux caractériser la dynamique des particules à l'échelle du golfe du Lion lors des événements extrêmes. Cela vise notamment à mieux documenter le rôle de floculation sur la dynamique des particules et la variabilité spatio-temporelle des mécanismes de transfert côte-large.

La première phase de ce projet (printemps 2019) consiste à faire l'intégration du capteur LISST sur le glider, avec l'aide de l'Université de Rutgers qui a une forte expérience dans ce domaine. Le capteur est prêté dans le cadre de cette collaboration avec Travis Miles qui s'intéresse notamment à l'impact des événements de tempêtes sur la dynamique sédimentaire en zone côtière.

Un premier déploiement est prévu sur le plateau roussillonnais entre l'embouchure du fleuve Têt (Pyrénées-Orientales) et le canyon du Lacaze-Duthiers à l'automne 2019 afin de faire des tests du déploiement du glider équipé du LISST et de faire des mesures complémentaires in-situ (calibration des capteurs) avec le navire de station Néréis de l'observatoire de Banyuls sur mer.



Figure 265 : Déploiement du glider face au Rhône

Nous prévoyons un second déploiement en face de l'embouchure du Rhône en période hivernale 2020

propice aux crues et tempêtes. Ce déploiement sera encadré par 2 campagnes de mesures intensives sur le Téthys II. La première campagne servira pour le déploiement du glider et la seconde 1 mois après pour la récupération. Ces campagnes de mesure serviront à déployer une instrumentation plus lourde avec les partenaires du projet (IMEV et Ifremer), permettant de calibrer les capteurs du glider mais aussi à faire des validations des données satellites de couleur de l'eau. En effet il a été montré précédemment que le glider pouvait être un bon outil pour faire des calibrations de concentration des matières en suspension en apportant maintenant la caractérisation de la taille des particules.

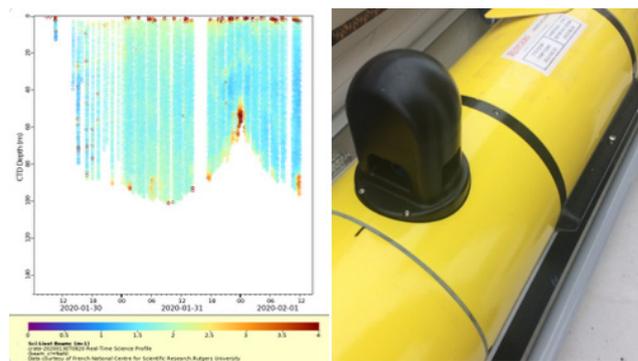


Figure 266 : Mesures in situ et capteur LISST sur le glider

Le déploiement du glider équipé du capteur LISST est actuellement en cours. A la fin de la mission, le capteur sera restitué à l'Université de Rutgers.

3.4.7. MATUGLI

Laboratoire demandeur : Cefrem.

Chercheur : François Bourrin.

Le projet ANR MATUGLI (Mesures Autonomes de la TURbidité côtière à l'aide de GLIders) a été lancé au sein du CREM du Barcarès. Ce projet innovant a pour but de développer un système de mesure de la turbidité sur des planeurs sous-marins afin d'étudier l'impact des événements extrêmes dans les eaux côtières. Les événements de tempêtes et de crues sont les mécanismes clés qui interviennent dans le transfert de la matière aux interfaces du domaine côtier. Les mesures à partir de navires océanographiques sont très aléatoires durant les fortes tempêtes et seul le déploiement de plateformes autonomes peut permettre un échantillonnage spatio-temporel haute fréquence durant ces événements météorologiques intenses. Les données acquises lors de ce projet permettent à terme de mieux comprendre les mécanismes hydro-sédimentaires du continuum terre-mer et permettent d'améliorer les outils de modélisation.

La première phase a consisté à faire la configuration d'un capteur ADCP intégré par le constructeur sur un

de nos gliders. Ensuite, deux déploiements ont été effectués à Sète et près de l'embouchure du Rhône en 2016.

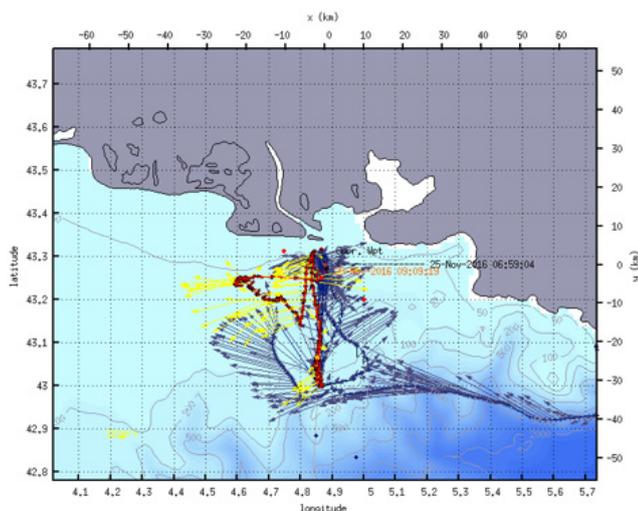


Figure 267 : Déploiement MATUGLI dans le delta du Rhône

La capteur ADCP financé par ce projet reste au parc des gliders, à disposition de toute équipe scientifique.

3.4.8. RENORISK

Laboratoire demandeur : Université de La Réunion.

Chercheur : Emmanuel Cordier.

Le programme de recherche international ReNovRisk-Cyclones (RNR-CYC) vise à appréhender l'impact météorologique et océanographique des cyclones tropicaux sur les territoires du sud-ouest de l'Océan Indien (SOOI). Ce programme de 3 ans (2017-2020), essentiellement financé par l'Europe, La Région et l'Etat français (FEDER INTERREG V et CPER), est porté par le Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones (LACy, Université de La Réunion - CNRS - Météo-France).



Figure 268 : Test fonctionnel à l'Université de La Réunion

Une action importante de RNR-CYC consiste à développer un système numérique couplé OVA à haute résolution (500 m) permettant d'étudier et de

cartographier précisément l'impact des cyclones sur les terres habitées du SOOI. Si les modèles couplés se révèlent aujourd'hui primordiaux, la communauté scientifique continue néanmoins de faire face à un manque cruel d'observations à l'interface air/mer et dans l'océan. Cette absence est un handicap pour évaluer les performances de ces modèles numériques. Afin de pallier à ces limitations, le programme RNR-CYC a été doté d'une importante composante expérimentale visant à renforcer les moyens d'observations des cyclones tropicaux se développant dans cette région du monde. La première étape, commencée en 2017, consiste à déployer de nouveaux capteurs météorologiques pérennes au Mozambique, à Madagascar et sur les principales îles du bassin. La seconde étape consiste à organiser, pour la première fois dans cette région du monde, une campagne de mesures dédiée à l'étude des cyclones de ce bassin pendant l'été austral 2018-2019.

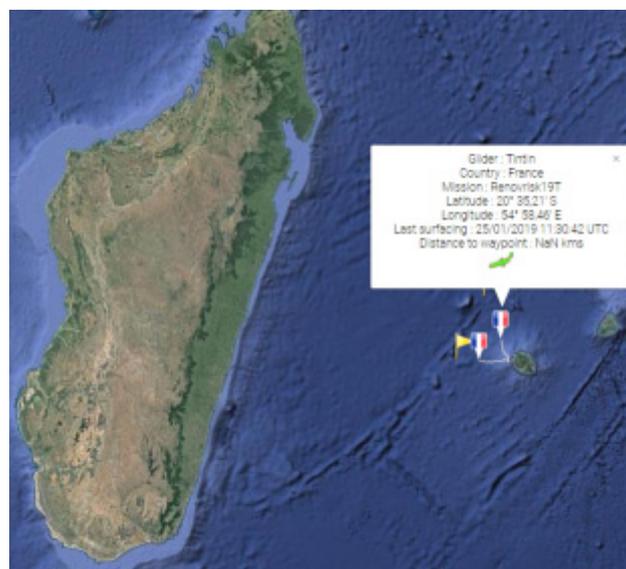


Figure 269 : Déploiement des gliders au large de La Réunion

Le parc a préparé et déployé 2 gliders chacun pendant 1 mois en parallèle en janvier 2019.

3.4.9. PERLE

Laboratoire demandeur : LOCEAN.

Chercheur : Pierre Testor.

Le projet PERLE (INSU / MISTRALS - MERMEX et HyMeX) est une étude sur la formation des eaux levantines intermédiaires et les processus associés dans la phénologie du bloom printanier. PERLE s'inscrit dans la continuation des opérations DEWEX (MERMEX/HyMeX) réalisées sur la formation des eaux profondes et le bloom printanier dans le Golfe du Lion en 2012-2013.

Ces deux projets abordent cette même question dans deux environnements contrastés, l'un plus

représentatif d'un bloom de type subpolaire (DEWEX), l'autre de type tropical (PERLE). Il s'agit ainsi d'étudier, pour la première fois à haute résolution et avec une couverture spatio-temporelle adaptée, la formation des eaux levantines intermédiaires afin de mieux comprendre ces processus de formation d'eau, et les processus physiques-biogéochimiques couplés qui régissent le bloom ou son intermittence et de permettre ainsi de mieux contraindre les modèles numériques, localement et à l'échelle de toute la Méditerranée en combinant les résultats de PERLE avec les résultats acquis lors des précédentes expériences et en cours (DEWEX en Méditerranée nord-occidentale, ADREX en mer adriatique et ionienne). Les observations permettent en particulier d'améliorer la représentation des mécanismes de formation et la localisation des zones de formation, une évaluation de l'effet des conditions physiques régionales (vents, stratification, structures transitoires à méso-échelle) sur l'occurrence des efflorescences planctoniques.

Un glider a été déployé 2 fois depuis Chypre.

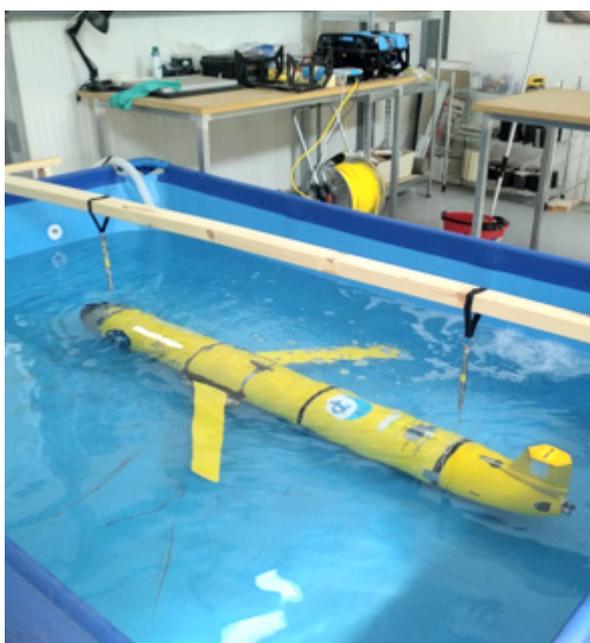


Figure 270 : Changement de batteries et ballastage à Chypre



Figure 271 : Trajectoire du 1er déploiement depuis Chypre

3.4.10. GETSCH TNA JericoNext

Laboratoire demandeur : INSTM, Tunisie.

Chercheur : Sana Ben Ismail.

Dans le cadre des TNA (Trans National Access) du programme européen JericoNext, l'étude d'une zone encore peu explorée de la Méditerranée permet de clarifier certains processus d'échanges physiques entre les eaux de surface et les masses intermédiaires.

Le parc a déployé un glider en 2018 pour une radiale entre la Sardaigne et la Tunisie.



Figure 272 : Déploiement depuis La Sardaigne

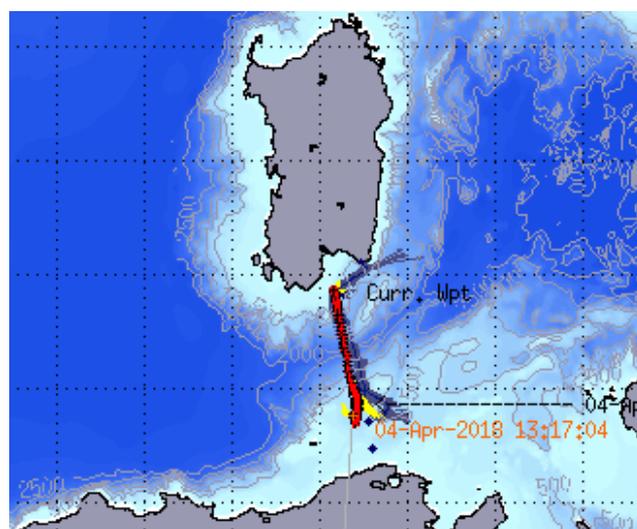


Figure 273 : Trajectoire entre Sardaigne et Tunisie

3.4.11. GlucVN

Laboratoire demandeur : LEGOS.

Chercheur : Marine Herrmann.

La campagne de mesures GlucVN a été programmée en mars-août 2018. L'objectif est d'établir un jeu de mesures in situ pour constituer un cas d'étude bien documenté de la région du centre du Vietnam : l'upwelling pour les conditions de mousson d'hiver et d'été. Il sera mené à partir de ce cas une étude précise du fonctionnement hydrodynamique de l'upwelling

et de son influence sur le transport de matière et l'écosystème planctonique dans la région en examinant conjointement les données recueillies et les résultats de simulations numériques menées spécifiquement sur la période observée. Ce cas d'étude permet d'évaluer et d'améliorer la qualité d'un outil de modélisation couplée physique-bio-géochimie et d'en définir la configuration permettant la représentation la plus réaliste de la dynamique océanique et de la bio-géochimie. Cet outil sera alors utilisé à plus long terme pour explorer la variabilité de cette région océanique et sa réponse aux perturbations anthropiques et climatiques.

L'objectif était de déployer un glider pour 6 mois. Mais alors que le glider a été envoyé au Vietnam, le déploiement a été repoussé puis annulé faute d'autorisation des autorités.

3.4.12. GliderSouth TNA JericoNext

Laboratoire demandeur : Université de Malte.

Chercheur : Aldo Drago.

Dans le cadre des TNA (Trans National Access) du programme européen JericoNext, le but de ce projet est d'échantillonner au maximum une zone très peu étudiée afin de confronter les résultats des données récoltées aux modèles mis en place par les équipes de l'université.

L'objectif de la campagne, en avril-juin 2017, est de déployer un glider depuis l'île de Malte, avec une radiale jusqu'au large de la Lybie, et un demi-tour de l'île avant récupération.



Figure 274 : Photo du largage du glider paru dans un journal chypriote

3.4.13. FinisGlider TNA JericoNext

Laboratoire demandeur : Instituto Espanol de Oceanografia.

Chercheur : Cesar Gonzalez-Pola.

C'est une demande de déploiement faite dans le cadre des TNA du programme européen JericoNext,

pour étudier le courant sur une radiale au large de La Corogne, en Espagne, en juin-juillet 2017.

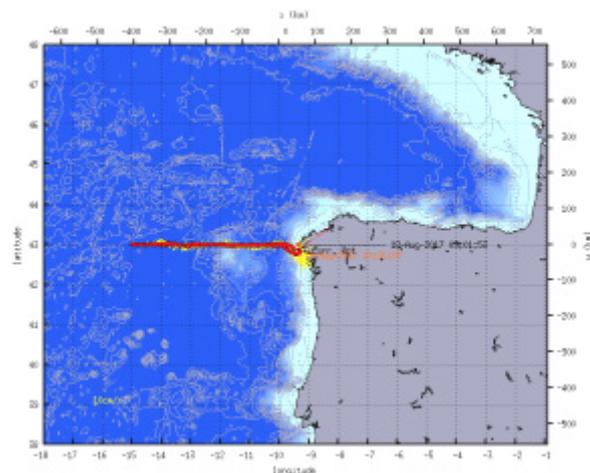


Figure 275 : Radiale au large de la Corogne

3.4.14. El_Nino

Laboratoire demandeur : IRD.

Chercheur : Vincent Echevin.

L'objectif est l'étude des impacts du phénomène El Nino, dont l'ampleur est particulièrement exceptionnelle.

En 2015 et 2016, le parc a déployé deux gliders, pendant 2 mois chacun, sur une radiale au large du Pérou.

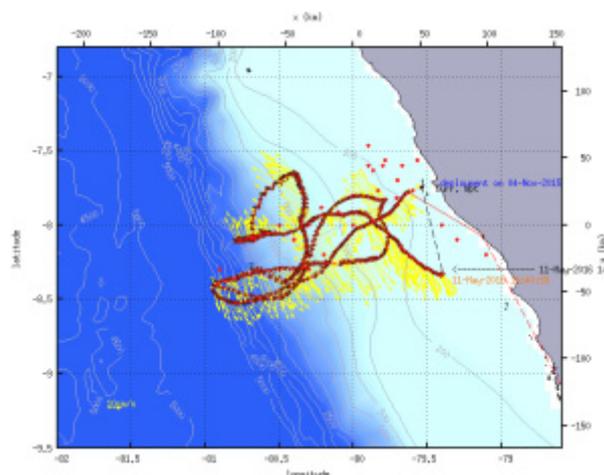


Figure 276 : Trajectoire au large du Pérou

3.4.15. TNA GliSen2

Laboratoire demandeur : CRODT, LOCEAN, IRD.

Chercheur : Alban Lazare.

La demande a été faite dans le cadre des TNA du programme européen JericoNext. Elle consiste en la préparation et au déploiement, en 2016, d'un glider avec la coopération du Centre de Recherche Océanographique de Dakar.



Figure 277 : Déploiement du glider depuis Dakar

3.4.16. MEDSat

Laboratoire demandeur : Ifremer.

Chercheur : Sylvain Coudray.

L'objectif est de déployer un glider depuis Nice et de le récupérer au large de Toulon.

Le glider a bien été déployé, mais il a été perdu avant sa récupération.



Figure 278 : Déploiement du glider au large de Nice

Personnel DT impliqué :

Les agents du parc des gliders.

Les membres du service Info-dev pour les outils de pilotage et le transfert des données.

Contact :

Jeanne Melkonian, responsable du parc national des gliders.

jeanne.melkonian@cnsr.fr

3.5. 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.

3.5.1. 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 Meudon. Ces bancs d'étalonnage permettent d'étalonner des capteurs de mesure de la pCO₂ dans l'eau de mer.

Ces étalonnages sont effectués à la demande des laboratoires utilisateurs de ces capteurs de pCO₂ sur bouées Carioca, Marel, Pirata, Boussole, etc (voir les articles sur BIOCAREX, Marel, Pirata, SOCLIM, STEP).

3.5.2. 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).



Figure 279 : Un des 2 bancs d'étalonnage, avec son armoire thermostatée

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, de régulateurs de débits et de 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.

3.5.3. 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 2015 et 2019, 60 étalonnages ont été réalisés. Les capteurs étalonnés sont intégrés sur divers supports : bouées Carioca (dérivantes), bouées Pirata, Marel ou Boussole (bouées fixes).

Personnel DT impliqué :

- Laurence Beaumont : étalonnages.
- Benoit Arnold : mécanique, intégrations.
- Oualid Aouji : automatisation.
- Gilles Buchholtz : automatisation.

Contact :

laurence.beaumont@cnsr.fr

3.6. RESIF

Le projet de mise en œuvre de l'infrastructure de recherche RESIF, Réseau Sismologique et géodésique Français, est né en 2008 de la volonté de la communauté scientifique de fédérer au niveau national les réseaux d'observation géophysique existants sur le sol métropolitain.

Si plusieurs composantes instrumentales de RESIF existaient déjà (réseaux permanents GNSS, accélérométrie, gravimétrie, parcs mobiles GNSS, sismologique, gravimétrie), le réseau sismologique Large-Bande permanent restait à construire. La mise en cohérence des différentes chaînes de traitement informatique de chaque composante instrumentale de RESIF (collecte, contrôle qualité, archivage, mise à disposition, valorisation) pour aboutir à un Système d'Information national constituait également un chantier important pour intégrer l'infrastructure de recherche européenne EPOS (European Plate Observing System), elle aussi en cours de construction.

Fin 2009, l'INSU a désigné la Division Technique comme maître d'œuvre du projet de construction du réseau sismologique Large-Bande permanent (200 stations réparties sur l'ensemble du territoire à l'horizon 2020).

A partir de 2010, l'INSU a versé les crédits annuels dédiés à l'infrastructure RESIF, à la Division Technique, ce qui a impliqué cette dernière dans l'ensemble des activités de l'infrastructure. Avec l'obtention d'un Equipex, de par sa proximité géographique avec le siège du CNRS et de l'INSU, c'est encore la Division Technique qui a fait l'interface entre les services financiers du siège et les différentes antennes de RESIF pour le montage des marchés et des contrats gérés depuis le siège.

3.6.1. Construction Large Bande

Le projet Construction Large Bande, extension du Réseau sismologique Large Bande Permanent d'une quarantaine de stations hétérogènes à près de deux cents à l'horizon 2020, reste la partie de RESIF qui a le plus mobilisé la Division Technique.

La DT a d'abord joué un rôle de management et de coordination des 8 OSU partenaires. Elle leur a fourni les équipements nécessaires à l'avancement du projet, leur a attribué des CDD dédiés au projet, les a sollicités pour prendre en charge des fonctions nécessaires au niveau national (plate-forme instrumentale, centre de supervision technique, serveur VPN) et pour définir le cahier des charges des marchés. Mais elle est aussi intervenue sur le terrain

avec ses qualitatifs (un qualitatif senior en prestation externe et un ingénieur AIT/AIV en CDD), son ingénieur génie civil (CDD) et un automaticien de l'OHP attribué à 50% au projet.

Le partenariat d'innovation, nouveau type de marché basé sur un décret de septembre 2014, pour l'étude et la fabrication en série d'armoires contrôle commandées destinées à des stations géophysiques sur le terrain, a fait l'objet d'un appel à candidature en 2015. L'appel d'offre a été publié en décembre 2015 auprès des neuf candidats retenus. En 2016, six d'entre eux ont répondu. Une première négociation en présentiel puis une seconde en téléconférence ont amené à retenir trois partenaires pour commencer l'étude. Une réunion de lancement s'est tenue avec chacun d'eux fin 2016. Le montage juridique de ce partenariat d'innovation a été mené par la Direction Déléguée aux Achats et à l'Innovation. Il nous été demandé de faire une présentation de ce montage lors de la journée 2016 des grandes infrastructures au MENESR. Cette même année, le CNRS s'est vu attribué le prix de l'innovation dans les marchés publics pour ce partenariat. En 2017, les trois partenaires ont mené leurs études en parallèle, ponctuées chacune par une revue de conception, puis une revue industrielle suite à laquelle un modèle d'armoire identique à la série à venir a été fabriqué et livré.



Figure 280 : Banc de test au LSBB à Rustrel

Grâce à un accord passé avec le Laboratoire Souterrain à Bas Bruit, un banc de test constitué de trois « locaux techniques » identiques a été construit au sommet de la montagne de Rustrel (84) pour soumettre les trois armoires aux mêmes conditions difficiles de terrain (plus de 1000 m d'altitude, Mistral, orages, etc.). L'attribution de la phase de fabrication à la société ABAC a été décidée en décembre et la série de 80 ensembles a été livrée en trois fois au printemps et à l'été 2018. Une série complémentaire de 10 pour les sites sur panneaux solaires a été également commandée. Ce marché représente au total 1,1 M€.

L'autre grand marché du projet concernait les équipements scientifiques. Plus « traditionnel » il a

également été mis en place par la DDAI du fait de son montant attendu (2 M€). La procédure, de la publication à l'attribution définitive (après deux recours au tribunal administratif) a occupé l'ensemble de l'année 2016. Les livraisons, échelonnées sur tout 2017, ont permis d'activer la plate-forme instrumentale, finalement située à Strasbourg, pour vérifier la conformité de l'ensemble des équipements et caractériser les capteurs vélocimétriques.

L'infrastructure d'un site standard ayant été définie (forage tubé métal à 6 m, local technique, baie outdoor à 10 m de la tête de forage avec regard pour extension future au milieu), les chantiers de forages ont commencé dès 2015 au fur et à mesure de la validation, par l'ensemble des correspondants scientifiques des OSU, des dossiers de proposition de site résultant des prospections de chaque OSU autour des points théoriques définis en début de projet. A fin 2019, 72 forages ont été réalisés ; parmi eux une cinquantaine l'ont été par le BRGM dont le projet CLB a réussi ainsi à empêcher la fermeture de l'atelier de sondage.



Figure 281 : Site CLAF – Gruissan - massif de la Clappe : a- Tube métal pour chemiser le forage ; b- Mise en place de la hausse de la future baie outdoor sur la dalle fraîchement coulée ; c- Réalisation d'une tranchée entre le site et le PDL ; d- Mise en place des fourreaux pour le passage des câbles (photos OMP)

A noter que les résultats des nombreux tests sur les différents mode d'installation de capteurs en forage que nous avons effectués (rapport d'activité 2011-2014) ont fait l'objet d'un poster à l'AGU 2015 à San Francisco et d'une communication à l'EGU 2016 à Vienne (voir Publications ci-dessous).

Au printemps 2018, la préparation de l'intégration des stations a nécessité la coordination de nombreuses commandes pour des fournitures diverses (batteries, modems, câbles de toutes sortes, etc.), à livrer directement dans les OSU en fonction de la planification et des besoins de chacun. La première finalisation d'une station permanente sismologique au standard défini par le projet a eu lieu le 21 juin 2018 sur le site de St Loup (LOUF) en Normandie. Depuis, une soixantaine de sites ont été intégrés avec une armoire contrôle commande du projet, dont

certains dans des configurations pas complètement standard. A part les cas en grotte, on notera plusieurs sites sur panneaux solaires pour lesquels nous avons fait développer par la société Bleu Ciel Energie une solution qui va de la structure mécanique de support des panneaux (adaptée au site), jusqu'à la production du 220V nécessaire à l'armoire contrôle commande.



Figure 282 : Station OMP du Castet (REYF) dans les Pyrénées

L'Observatoire de la Côte d'Azur a accepté de développer l'outil de supervision national qui dialogue avec les armoires contrôle commande. Le résultat, Synapse, est finalement beaucoup plus générique et récupère les informations techniques de tous les équipements de la station capables d'en donner, sous réserve d'avoir écrit un plugin spécifique pour chaque appareil.

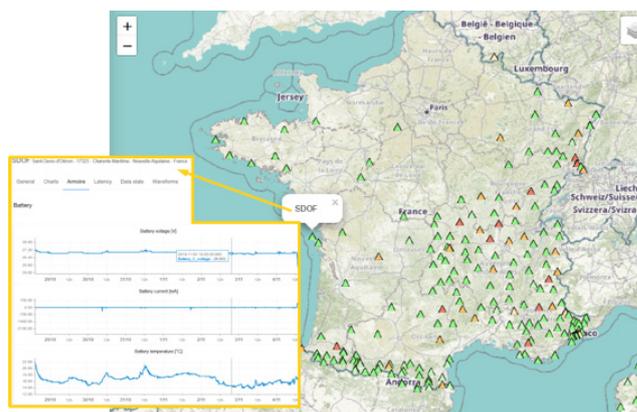


Figure 283 :Supervision des sites instrumentés

3.6.2. Infrastructure RESIF

Concernant l'infrastructure RESIF, la Division Technique a géré pour elle de nombreux marchés, depuis des jouvences partielles des différentes antennes (réseau accélérométrique permanent, station gravimétrique permanente de Strasbourg, réseau national GNSS, système d'information) jusqu'à l'organisation des journées bisannuelles RESIF (Saint Jean de Mont en 2017, Biarritz en 2019). Le marché (à

bons de commande) d'instrumentation scientifique passé pour le projet Construction Large Bande a été également utilisé par les différentes antennes de RESIF pour acheter du matériel.

3.6.3. Parcs géophysiques

La Division Technique a la responsabilité technique du parc mobile GNSS de l'INSU. Totalement jouvencé sur la période précédente, ce parc a fonctionné de façon nominale sur 2016-2019. Depuis début 2019, le taux d'occupation des équipements a atteint plusieurs fois la saturation, nous obligeant à sortir, au-delà des 45 récepteurs affichés à la réservation, les 4 récepteurs de réserve normalement utilisés pour absorber les retards de retour de mission ou les pannes de matériel.

L'activité de réparation des récepteurs GNSS Trimble pour laquelle Benoît Arnold a été formé par le fabricant est assez constante et très appréciée des différents réseaux permanents GNSS (RENAG, observatoires volcanologiques, TAF, Pérou, etc.).



Figure 284 : Préparation d'un départ de mission du parc mobile GNSS

La Division Technique gère le budget des autres parcs géophysiques de l'INSU (Sismob pour les sismomètres, Gmob pour les gravimètres et OBS pour les sismomètres fond de mer) et a été impliquée dans de nombreux appels d'offres pour leur jouvence. A noter le cas particulier du contrat de développement du premier gravimètre atomique commercial avec la société MuQuans. Si le budget Equipex correspondant est géré par l'INSU au siège, la Division Technique assure l'interface entre les parties technique et juridique. Les retards inhérents à tout développement innovant avaient placé ce projet dans un vide juridique lorsque le contrat initial s'est achevé en juillet 2015 alors que la version intermédiaire « de laboratoire » du matériel n'avait pas encore été livrée. Un long travail a commencé en 2016 avec la Direction des Affaires Juridiques du CNRS qui a abouti

en 2018 à un second contrat pour la réalisation d'un gravimètre atomique « de terrain » qui serait échangé avec le gravimètre atomique « de laboratoire » (finalement livré début 2016). Depuis novembre 2019, le gravimètre de terrain fonctionne sur le site de La Jasse dans le Larzac et donne entière satisfaction, ce qui respecte l'échéance de décembre 2019 du second contrat.

Publications :

- Olivier Charade, Jérôme Eysseric, Michel Couturier, Pierre Douvillé. « Les armoires contrôle-commande du Réseau Large Bande Permanent (RLBP) ». Rencontres scientifiques et techniques RESIF, Biarritz, Nov 2019. HAL Id : hal-02415300.
- Jérôme Vergne, Hélène Pauchet, Mickael Bonnin, El-Madini Aissaoui, Luigi Ardito et al., « Quality Improvement of the French Permanent Broadband Stations with Shallow Posthole Installations », EGU General Assembly, Vienne, Austria. 2019. HAL Id : hal-02275873.
- Charade O, Vergne J, Bonaimé S, Bonnin M, Louis-Xavier T, Beucler E, Manhaval B, Arnold B., « Comparative tests between shallow downhole installation and classical seismic vaults ». EGU General Assembly Conference Abstracts. Vol 18, 2016, 12921.
- J. Vergne, O. Charade et al., « Quantifying the Benefits of Shallow Posthole Installation for the Future French Permanent Broadband Stations ». AGU 2015 poster.

Personnel DT impliqué :

Olivier Charade, Benoît Arnold.

Contact :

olivier.charade@cnr.fr

3.7. Le Centre de Carottage et de Forage National

Le Centre de Carottage et de Forage National (C2FN) était une plateforme du CNRS-INSU de 2008 à 2019 regroupant 3 composantes : glaciaire, continentale et océanographique. Par décision du MESRI, toutes les activités océanographiques ont été regroupées auprès de l'Ifremer. De fait, en 2019, le CNRS-INSU a décidé de dissoudre cette plateforme amputée d'une de ses composantes. Il a donc confié la composante glaciaire à ICE et la composante continentale à la DT-INSU. La composante continentale a été placée sous la double tutelle INSU-INEE suite au constat que ses activités sont très partagées et au service d'unités rattachées à ces 2 instituts.

3.7.1. Carottage continental

A ce jour le statut exact de la composante continentale du C2FN est toujours en cours de redéfinition. Une enquête et une analyse approfondie sur les moyens existants et les besoins à venir ont été menées. Cette enquête est partie intégrante des prospectives du CNRS-INSU. Le statut de la composante continentale devrait aboutir au cours de l'année 2020.

La composante continentale met à disposition des matériels et des personnels en soutien aux programmes de recherche, gérés par des personnels affiliés à l'INSU ou à l'INEE, nécessitant la réalisation de carottages en domaine continental. Les personnels des autres instituts du CNRS peuvent également faire appel à la composante continentale, des laboratoires de l'INSHS faisant déjà appel au C2FN.

Pour permettre une bonne gestion des matériels et des ressources humaines du C2FN-C, les utilisateurs potentiels, depuis 2017, doivent soumettre leur demande via les demandes de soutien de la DT-INSU. En parallèle, il est nécessaire de prendre contact avec le responsable technique du C2FN-C pour obtenir une première expertise technique concernant la future demande.

En faisant appel aux moyens du C2FN, les utilisateurs s'engagent à mentionner la plateforme nationale dans les remerciements de toute publication/présentation orale ou par poster.

Tous les équipements sont également accessibles aux acteurs privés, moyennant finance suivant les tarifs établis par un modèle économique.

Par contre, la mise en œuvre reste l'exclusivité de la composante continentale. Il n'y a pas de prêt ou de location de matériel pour préserver l'intégrité du

matériel et garder la main sur l'historique des incidents d'utilisation afin de parfaire la maintenance et la jouvence du matériel.

Le carottage continental regroupe 4 domaines distincts d'intervention pour lesquels des moyens de sondage fondamentalement différents sont mis en œuvre :



Figure 285 : Moyens du carottage continental

La composante continentale s'appuie sur plusieurs laboratoires, et plus particulièrement sur EDYTEM, EPOC, M2C et Géosystèmes, respectivement au Bourget du Lac, Bordeaux, Caen et Lille. La DT-INSU est l'unité d'accueil du cœur de la composante continentale localisée à La Seyne sur Mer.

L'entretien, la maintenance, les opérations de jouvence, le renouvellement des matériels et les achats d'équipements sont principalement assurés via un budget annuel alloué à ces fins par le CNRS-INSU. En complément et pour la période 2013-2019, le C2FN, lauréat de l'EquipEX CLIMCOR, a vu ses moyens augmenter de façon substantielle.

Lancé en 2013, l'EquipEX CLIMCOR est en pleine phase de réalisation à partir de 2015. Il s'est terminé fin 2019. Le WP2, dont l'équipe carottage continental est pleinement responsable, a permis :

- D'acheter de nouveaux outils de sondage.
- De développer (conception, intégration et mise au point) des nouveaux équipements de sondage lacustre et littoral.

3.7.2. Achats

Partie terrestre :

5 nouveaux carottiers et 2 marteaux fond de trou afin de prélever des échantillons sédimentaires continus dans une variété de sol non consolidé de 0 à 50 m.

Partie lacustre :

Une plateforme de sondage modulable (4 m x 5 m, 4 m x 7 m), qu'il est possible d'armer avec deux équipements différents.

DHH (Down Hole Hammer), c'est le premier équipement pouvant armer la plateforme de sondage modulaire. DHH avec son système de re-entry permet de retrouver l'entrée du trou quelle que soit la profondeur du lac. DHH est un marteau à frappe manuelle qui, équipé d'un carottier UWITEC à piston stationnaire, permet de prélever une séquence de sédiments de 19 m par des profondeurs de 254 m (lac d'Iseo en 2018), voir plus jusqu'à 25 ou 30 m en fonction de la dureté des sédiments.



Figure 286 : Barge modulaire armée du DHH

La plateforme modulaire et DHH sont des équipements achetés clé en main auprès de la société autrichienne UWITEC.

Partie logistique :

Les achats d'équipements logistiques sont antérieurs à 2015, leurs descriptions sont incluses dans le précédent rapport d'activité de la DT-INSU.

3.7.3. Développements

Partie terrestre :

Carottier russe 100 mm : à partir du carottier russe 140 mm en acier hérité du CEREGE, un carottier 100 mm tout inox a été conçu par l'équipe continent de la DT. La fabrication a été réalisée par la société TECHNIDRILL basée à Caros (06). Cette fabrication a fait l'objet d'un NDA (Non-Disclosure Agreement) entre le CNRS et TECHNIDRILL.

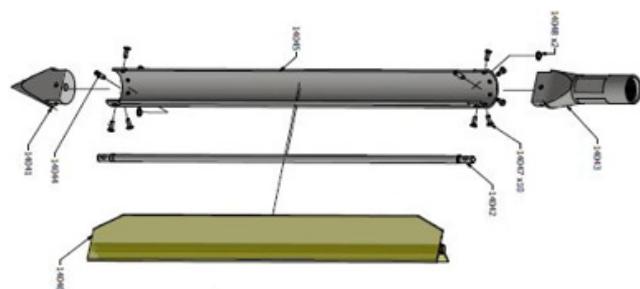


Figure 287 : Vue éclatée du carottier russe 100 mm

Partie lacustre :

HYDRO : c'est le deuxième équipement pouvant armer la plateforme modulaire. HYDRO est un marteau hydraulique fonctionnant à l'eau afin de pouvoir travailler sans risque de pollution dans les environnements sensibles. La frappe est automatique grâce à l'énergie hydraulique. Ce marteau hydraulique et son carottier à piston stationnaire, lui aussi hydraulique, ont été entièrement conçus et développés par l'équipe continent de la DT INSU.



Figure 288 : Barge modulaire armée avec HYDRO

Le carottier a été fabriqué par la société autrichienne UWITEC. Cette fabrication a aussi fait l'objet d'un NDA entre le CNRS et UWITEC.

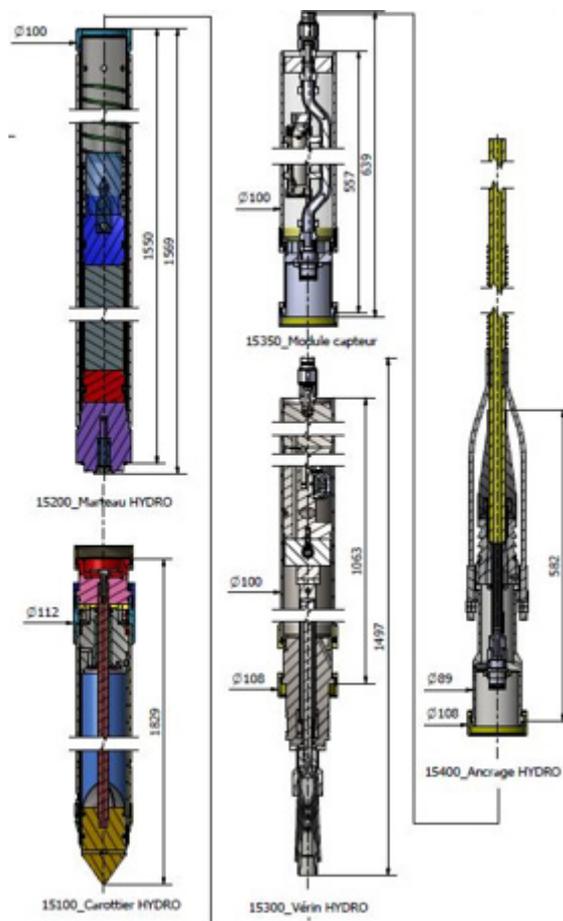


Figure 289 : Vue d'ensemble du carottier HYDRO

Cet équipement, testé à 2 reprises avec succès sur le lac du Bourget (2018, 16 m et 2019, 12 m), est encore en phase de mise au point avant de pouvoir rentrer dans sa phase d'exploitation.



Figure 290 : Carottier à piston stationnaire HYDRO gréé



Figure 291 : Carotte encore en place dans le carottier HYDRO

Mouillage : pour les opérations de sondage lacustre à grande profondeur, l'équipe continent de la DT-INSU a redéfini et recalculé entièrement les mouillages de la barge modulable nouvellement acquise. De nouvelles ancres avec des longueurs de chaînes adéquates, de nouvelles lignes de mouillage, des lignes d'orin et des bouées de signalisation ont été achetées. Un système de dépose et de relevage des ancres a été défini. Ce nouvel équipement d'ancrage a montré son efficacité à plusieurs reprises : lac d'Iseo en 2018, ou lac du Bourget en 2018 et 2019. Il a été éprouvé sous des rafales d'orage de plus de 100 km/h par 260 m de fond.

Partie littorale

Carottier Amaury : modification du carottier à percussion Amaury créé par EPOC il y a plus de 30ans.

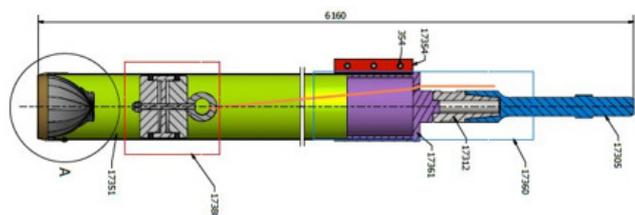


Figure 292 : Vue de détail du carottier Amaury

Constitution d'un dossier de fabrication, réalisation et vente d'un exemplaire, avant 2015, à la société ERAMET. Formation du personnel de la société ERAMET et réalisation d'une série de sondages dans la vallée de la Moulili au Gabon en 2015. Grâce aux RP dégagées suite à cette opération, un deuxième exemplaire a été fabriqué. Il fait maintenant partie de la panoplie d'équipements de sondage disponibles pour la communauté.

3.7.4. Réalisations

Entre 2015 et 2019, près d'une quarantaine de réalisations de forage ou de carottage ont été conduites avec succès. Cela totalise près de 1300 m forés dont 1100 m de carottes produites pour 16 PI et livrées à 12 laboratoires différents.



Figure 293 : Carottage russe et tarière à Agde

2015 :

- ERAMET, terrestre Amaury, Moulili (Gabon), 7 m.
- SHOM, formation Kulleberg, rade de Brest, 5 m.
- RESIF, destructif, Venanson, 10 m.
- ASM, carottier russe, Agde, 23 m.
- RESIF, destructif, Lubilhac, 10 m.
- BRGM, rotatif, Marchésieux, 48,5 m.
- BRGM, rotatif, Cabourg, 31,6 m.
- BRGM, rotatif, Grangue, 25 m.
- BRGM, rotatif, Croutonnes, 20 m.
- BRGM, rotatif, Bellou sur Huinnes, 20 m.
- BRGM, rotatif, Cordebugles, 20 m.
- BRGM, rotatif, Chapelle la Reine, 25 m.
- UNI KOELN, lacustre formation, Prespa (Macédoine), 25 m.
- RESIF, destructif, Melles, 10 m.
- RESIF, destructif, Osses, 10 m.
- RESIF, destructif, Castet, 10 m.
- RESIF, destructif, Dun, 10 m.
- RESIF, destructif, Genat, 10 m.



Figure 294 : Sondage au carottier à câble à Fréjus

2016 :

- RESIF, destructif, Trigance, 10 m.
- RESIF, destructif, Craste, 10 m.
- CEPAM, formation rotatif, Fréjus Argens, 15 m.
- RESIF, destructif, Gruisan, 10 m.
- RESIF, destructif, Eaux, 10 m.
- CEPAM, rotatif, Fréjus Argens, 38 m.
- RESIF, destructif, Bretagne, 20 m.
- BRGM, rotatif, Orveau, 31 m.

2017 :

- CLIMCOR, tests barge, lac d'Aiguebelette, 25 m.
- RESIF, destructif, Corse, 14 m.
- ISTO, carottier russe, Orléans, 8,5 m. Appel d'offre EC2CO projet Golden spike.
- DdS Colônia (voir ci-dessous), 50 m.
- BRGM, formation, Cabanac, 50 m.



Figure 295 : Sondage dans la chambre à sable (collecteur d'égouts) à Orléans

2018 :

- Tests et entrainement carottage Loess, Collias, 10 m.
- CLIMCOR-HYDRO, tests, lac du Bourget, 16 m.
- CLIMCOR-DHH, tests et formation, lac d'Iseo, 17 m.



Figure 296 : Remontée du carottier HYDRO au lac du Bourget

2019 :

- DdS Nussloch (voir ci-dessous), 17,55 m.
- CLIMCOR-HYDRO, tests, lac du Bourget, 12 m.
- CLIMCOR-DHH, tests et formation, lac du Bourget, 19 m.
- CLIMCOR-DHH, démo fin EquipEX CLIMCOR, Bergsee, 32 m.



Figure 297 : Démonstration DHH devant les tutelles à Bergsee

3.7.5. Demande de soutien Colônia

Projet UV-TROP, carottage sédimentaire à Sao Paulo, Brésil.

Laboratoire demandeur : ISEM (UMR 5554).

Chercheur : Marie Pierre Ledru.

Objectifs scientifiques :

Le projet intitulé « Comprendre la relation entre variabilité solaire, changement climatique et biodiversité dans les tropiques » (UV-TROP) a pour objectif de reconstituer à haute résolution les changements climatiques (précipitation, température et longueur de saison sèche) et les

changements de radiation UV-B sur le long terme (plusieurs cycles glaciaire/interglaciaire) dans la forêt tropicale humide du Brésil. Notre site d'étude, le cratère météoritique de Colônia, est localisé à 35 km de la ville de Sao Paulo au Brésil. Colônia est reconnu internationalement comme un site d'étude unique de la forêt tropicale humide et des climats de l'hémisphère sud sur des échelles de temps longs. Ce type d'enregistrement est rare et le type d'informations qu'il peut fournir est donc unique.

La structure de Colônia consiste en un anneau circulaire d'environ 3,5 km de diamètre que l'on pense avoir été formé par un impact météoritique il y a environ 5 millions d'années. Le dépôt sédimentaire s'est formé sur environ 300 m de profondeur dans le cratère au-dessus des blocs d'impact. Les sédiments se sont tout d'abord déposés dans un paléo lac qui s'est comblé il y a environ 200 ka et s'est transformé en tourbière marécageuse (Ledru et al, 2015).

Le projet UV-TROP comprend la réalisation d'un carottage de 50 m de profondeur couvrant environ 800 000 ans.

Description technique :

Deux tâches sont confiées à la DT :

- Une étude de faisabilité avec la rédaction d'un cahier des charges et la recherche d'une entreprise locale pour la réalisation du sondage en sous-traitance.
- Un suivi in situ des opérations en apportant expertise et savoir-faire pour la réalisation de 2 sondages de 50 m (1 carotte + 1 carotte de recouvrement) dans la partie centrale du cratère de Colônia.

Ces 2 sondages ont été réalisés avec un carottier à foncer brésilien (Sondosolo-103) double avec liner. Un tubage extérieur à l'avancement a été utilisé pour maintenir les parois du trou pour limiter les sédiments remaniés.

Campagne :

La campagne de sondage s'est déroulée en 2 phases.

Sondosolo, l'entreprise sous-traitante, est d'abord arrivé in situ avec un simple trépied et des moyens rudimentaires non conformes au cahier des charges. A notre remarque, l'entreprise affirme qu'après les tests effectués un mois auparavant ces équipements seront suffisants. A la fin de la première semaine, la cote de 13,5 m est atteinte avec beaucoup de difficultés sans pouvoir progresser plus. Devant l'échec complet, nous posons un ultimatum à l'entreprise et exigeons la mise à disposition d'une machine conforme au cahier des charges sous peine

de rupture de contrat. L'entreprise réagit et une sondeuse est acheminée in situ.



Figure 298 : Installation de la sondeuse rotative

Le sondage reprend son cours depuis la surface et progresse normalement. En fin de deuxième semaine, 2 carottes de 51 m et 50,3 m avec recouvrement sont à la surface.



Figure 299 : La carotte des 51 m de Colônia

Perspectives :

Un programme pour recouvrir les 350 m de sédiments est en cours de montage. L'équipe de la DT attend avec impatience ce nouveau programme.

Personnel DT impliqué :

Alain de Moya, sondeur.

Laurent Augustin, maître d'ouvrage sondeur.

Publications :

Rapport de mission disponible.

M.-P. Ledru, W.U. Reimold, D. Ariztegui, E Bard, A.P. Crosta, C. Riccomini, A.O. Sawacuchi, and workshop participants. « Why deep drilling in the Colônia Basin (Brazil)? » *Sci.Dri.*, 20, 33-39, 2015. Doi: 10.5194/sd-20-33-2015.

3.7.6. Demande de soutien Nussloch

Carottage sédimentaire dans le loess, sud Eidelberg, Allemagne.

Laboratoire demandeur : LMD (UMR 8539).

Chercheur : Denis-Didier Rousseau.

Objectifs scientifiques :

Les séquences loessiques fournissent des enregistrements plus ou moins complets de la variabilité paléoclimatique. Elles correspondent à du matériel minéral mobilisé en surface, transporté sur des distances plus ou moins importantes, et déposé après piégeage par un couvert végétal réduit. Les séquences loessiques peuvent avoir des épaisseurs variables. En Europe, les séquences loessiques ont principalement enregistré les changements abrupts du climat de type Dansgaard-Oeschger (réchauffements rapides en 50-100 ans d'environ 10° au Groenland en période glaciaire) ou de type Heinrich (débâcles massives d'icebergs) durant certains stadiers (Rousseau et al, 2017).

Le but du projet soumis consiste à réaliser une nouvelle étude de la séquence de Nussloch, série de référence européenne que nous avons déjà étudiée, mais selon un nouveau protocole expérimental que nous souhaitons tester. Pour cela, il est demandé de réaliser le carottage des 18 m supérieurs d'un nouveau profil sédimentaire qui renferment les variations climatiques rapides correspondant aux stades isotopiques 4, 3 et 2., puis de réaliser les analyses XRF à Chambéry dans les mois suivant l'acquisition des carottes.

Description technique :

Tâches confiées à la DT : maître d'œuvre pour un sondage de 18 m avec une carotte de recouvrement et un taux de récupération supérieur à 95% pour assurer une séquence sédimentaire sans aucune interruption.

Campagne :

La campagne de sondage s'est très bien déroulée. Les conditions météo correctes ont permis un accès aisé au point de sondage situé en haut d'un champ cultivé. Le temps froid, le vent glacial (2 jours) et la légère chute de neige n'a pas eu raison du moral des troupes.



Figure 300 : Chantier installé en haut d'un champ cultivé

Le carottier STS102, acheté sur étagère et choisi pour ce sondage, s'est révélé avoir deux dysfonctionnements majeurs : Les liners vendus n'étaient pas adaptés au diamètre des échantillons découpés par la trousse coupante ; la trousse coupante, à la paroi trop épaisse, était inadaptée et pas assez coupante (affûtée) pour des loess. Nous avons donc été obligés d'acheter des liners de substitution dans les magasins de bricolage environnant. La trousse coupante, elle, a été reprise à la meuleuse in situ afin de lui diminuer son diamètre extérieur de plus de 10 mm et d'affûter son arête tranchante pour la rendre coupante comme celle d'un couteau.



Figure 301 : Trousse coupante et carotte de loess

La suite du sondage s'est déroulée sans aucun incident, à un bon rythme, permettant de prélever trois carottes :

- 17,55m, taux de récupération 89.2%.
- 17,20m, taux de récupération 95.6%
- 17,30m, taux de récupération 95.8%.

Les profondeurs annoncées sont les cotes sondeurs.

Perspectives :

Pendant la réalisation du sondage, nous avons eu la visite d'une équipe de l'université d'Heidelberg, qui a été très impressionnée par notre matériel, sa mise en œuvre, la qualité et l'efficacité de notre intervention. Nous sommes dans l'attente d'une sollicitation de leur part. Une demande de soutien pour carotter une autre séquence loessique en Belgique a été déposée en 2019. Elle n'a pas obtenu de financement pour 2020.

Personnel DT impliqué :

Alain de Moya, sondeur.

Laurent Augustin, maître d'œuvre.

Fredéric Le Moal, aide sondeur.

Personnel extérieur :

Luigi Ardito, sondeur BRGM.

Publications :

En attente de l'ouverture et de l'analyse des carottes.

Publications C2FN :

Il faut comprendre que le laps de temps entre la production d'une carotte et une publication est de plusieurs années. C'est le temps que peut prendre l'analyse d'une carotte, l'interprétation des données qu'elle a fournies et la rédaction d'un article. Certaines références de publications sont donc le résultat de sondages réalisés dans les années antérieures à ce rapport d'activité.

- M. P. Ledru and all, « Why deep drilling in the Colônia Basin (Brazil)? », *Sci. Dril.*, 20, 33–39, 2015. DOI : 10.5194/sd-20-33-2015.
- Bajard et al., « Reconstitution de l'évolution du paysage du lac de la Thuile (874m, Massif des Bauges) durant l'Holocène : mise en évidence d'une domination des processus érosifs liés à l'homme à l'étage montagnard », 2015, collection EDYTEM.
- Fanny Duprat-Oualid and all, « Vegetation response to abrupt climate changes in Western Europe from 45 to 14.7k cal a BP: the Bergsee lacustrine record (Black Forest, Germany) », *J. Quaternary Sci.*, Vol. 32(7) October 2017, p.1008-1021. DOI : 10.1002/jqs.2972.
- Thomas Lenormand and all, « Resurrection ecology in Artemia », *Evolutionary Applications*, Vol. 11(1), January 2018, p.76-87. DOI : 10.1111/eva.12522.
- William Rapuc and all, « Holocene-long record of flood frequency in the Southern Alps (Lake Iseo, Italy) under human and climate forcing », *Global and Planetary Change*, Vol. 175, April 2019, p.160-172. DOI : 10.1016/j.gloplacha.2019.02.010.
- C. Crouzet and all, « Palaeomagnetism for chronologies of recent alpine lake sediments : successes and limits », *Journal of Paleolimnology*, Vol. 62, June 2019, p.259-278. DOI : 10.1007/s10933-019-00087-z.

Personnel DT impliqué :

Laurent Augustin, responsable technique, 100% depuis janvier 2009.

Alain de Moya, mécanicien sondeur, 100% depuis avril 2013.

Frédéric Le Moal, électronicien, 90% depuis septembre 2018.

Stéphane Nicod, concepteur en mécanique, 100% de janvier 2014 à décembre 2016.

Rudji Turki, concepteur en mécanique, avril à juin 2017 en contrat de sous-traitance localisé sur le site de La Seyne sur Mer.

Contact :

laurent.augustin@cnrs.fr

Division Technique de l'Institut National des Sciences de l'Univers

www.dt.insu.cnrs.fr

Site de La Seyne sur Mer	INSU Division Technique Zone portuaire de Brégaillon CS 20330 83507 LA SEYNE SUR MER cedex
Site de Meudon	INSU Division Technique 1 place Aristide Briand 92195 MEUDON cedex
Site de Brest	INSU Division Technique Bâtiment IPEV - Centre Ifremer Technopôle Brest-Iroise CS 50074 29280 PLOUZANE