

COLLOQUE CNFG2

Géodésie et Géophysique Marine

Océan, Atmosphère, Géodynamique, méthodes d'observation

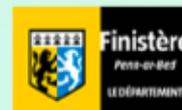
14 - 16 novembre 2016

ENSTA-Bretagne - Brest

Recueil des résumés



ENSTA
Bretagne
École Nationale Supérieure
Technique et Sciences de l'Espace



– Programme –

* Lundi 14 novembre *

13:45 – 14:00 Ouverture par M.-F. Lalancette (SHOM)

Océan et atmosphère (P. Poli, Météo-France)

14:00 – 14:30 Y. Ferret (SHOM), N. Pouvreau, V. Donato
Reconstruction, sauvegarde et analyse des données historiques de hauteurs d'eau : exemple de la reconstruction de la série marégraphique de Saint-Nazaire depuis le 19^e siècle

14:30 – 15:00 Q. Jamet (LOPS-IUEM), T. Huck, O. Arzel, A. Colin de Verdière, A. Hochet, C. Vic
Génération des ondes longues océaniques contrôlée par des processus non-adiabatiques

15:00 – 15:30 G. Sicot (ENSTA Bretagne, Lab-STICC), P.-A. Machard, F. Dumas
Analyse des cartes de courant de surface à l'aide de radars HF côtiers

15:30 – 15:45 Présentation des posters

Pause

16:15 – 16:45 C. Maes (LOPS/IRD)
Thermohaline variability of the upper ocean : documenting the specific role of salinity in the Tropics

16:45 – 17:15 A. Bentamy (IFREMER), J.F. Piollé, A. Grouazel, F. Paul, H. Azelmat, P.P. Mathieu, K.V. Schuchmann, S. Sathyendranah, H.E. King, R. Danielson, I. Esau, J. Johannessen, S. Gulev, C.A. Clayson, R. Pinker, S. Grodsky, M. Bourassa, S.R. Smith, K. Haines, M. Valdivieso, C. Merchant, B. Chapron, A. Anderson, R. Hollmann, J. Simon
Towards Improvement of the Estimation of Turbulent Heat Flux over Global Oceans

17:15 – 17:45 P. (Météo-France), P. Laloyaux
Réanalyses du 20^{ème} siècle

17:45 – 18:15 Claude Boucher (CNFGG)
Les organisations internationales dans le domaine de l'océanographie

* Mardi 15 novembre *

09:00 – 09:30 R. Biancale (CNES/GRGS)
Le système de référence terrestre, une histoire de satellites

Géodynamique (P. Briole, ENS)

- 09:30 – 10:00 L. Rolland (OCA/Géoazur), V. Rakoto, A. Sladen, Anthony, P. Lognonné
Observation des tsunamis depuis l'espace par sismologie ionosphérique
- 10:00 – 10:30 A. Briaïs (GET-OMP), F. Barrère, C. Boulart, G. Ceuleneer, N. Ferreira, B. Hanan, C. Hémond, S. Macleod, M. Maia, A. Maillard, S. Merkurjev, S.H. Park, S. Révillon, E. Ruellan, A. Schohn, S. Watson, Y.S. Yang
Structure et dynamique de la Dorsale Sud-Est Indienne, 129 °E à 140 °E, et du volcanisme hors-axe : Premiers résultats de la campagne océanographique STORM

Pause

- 11:00 – 11:30 G. Ménard (EDYTEM-USMB)
Changement majeur du régime de déformation tectonique des Alpes occidentales depuis les années 80-90 : instabilité liée à un effondrement gravitaire de la chaîne ?
- 11:30 – 12:00 A. Walpersdorf (ISTerre-UGA), L. Pinget, P. Vernant, C. Sue, RENAG team
Deformation pattern of the Western Alps from two decades of campaign and permanent GNSS measurements

Déjeuner

Méthodes d'observation en géophysique marine : Observatoires (V. Ballu, ULR)

- 13:30 – 14:00 J.Y. Royer (LGO-UBO), Y. Hello, M. Yegikyan
Observatoire acoustique sous-marin : proposition pour une solution autonome long-terme
- 14:00 – 14:30 X. Bompais (IFREMER), S. Garziglia, A. Deschamps, Y. Hello, D. Rivet
Un observatoire sous-marin dans la baie des Anges
- 14:30 – 15:00 Y. Hello (Geoazur-IRD), G. Nolet, S. Bonnieux, M. Yegikyan
A versatile Multiparameter Ocean Bottom System in the Mediterranean sea

Pause

Méthodes d'observation en géophysique marine : Acoustique (M. Maia, IUEM)

- 15:30 – 16:00 Y. Hello (Geoazur-IRD), G. Nolet, S. Bonnieux, M. Yegikyan
A versatile Oceanographic profiler dedicated to Seismometry in the Oceans
- 16:00 – 16:30 P. Sakic (ULR/LIENSs), V. Ballu, J.Y. Royer, H. Piété, E. Poirier
GEODESEA : première expérience française de GNSS/Acoustique dans la perspective du déploiement d'un réseau opérationnel dans les Antilles
- 16:30 – 17:00 A. Kuchly (Sonardyne Int Ltd), S. Dunn ; P. Hatchell
Long-term seafloor deformation monitoring using wireless acoustic transponders
- 17:00 – 17:30 B. Marsset (IFREMER REM/GM/LAD), S. Ker, V. Riboulot
SYSIF : Imagerie sismique Haute Résolution par grande profondeur
- 17:30 – 18:00 F. Auger (Total E&P)
Métrologie sous-marine par très grand profondeur (1000m à 2000m)

Cocktail dînatoire à Océanopolis

*** Mercredi 16 novembre *****Méthodes d'observation en géophysique marine : Gravimétrie (M.-F. Lalancette, SHOM)**

- 09:00 – 09:30 C. Roussel (CNAM), J. Verdun, M. Maïa, J. Cali, J.F. d'Eu
La mission d'expérimentation du système de gravimétrie mobile sous-marine GraviMob
- 09:30 – 10:00 A. Bresson (ONERA), Y. Bidel, N. Zahzam; C. Blanchard, D. Rouxel, M.F. Lalancette
La gravimétrie absolue marine avec des atomes froids
- 10:00 – 10:30 F. Liorzou (ONERA), B. Foulon, B. Christophe, V. Lebat
GREMLIT un gradiomètre électrostatique planaire et sa plateforme contrôlée dédié pour la géodésie aérienne

Table ronde (M.-F. Lalancette, SHOM ; C. Boucher, CNFGG)

- 11:00 – 12:15 *Innovation, développements technologiques et scientifiques en géophysique marine*
- 12:15 – 12:30 Clôture par C. Boucher (CNFGG)

– Résumés –

* Hors session *

Le système de référence terrestre, une histoire de satellites

Biancale R. (CNES/GRGS)

Contact : richard.biancale@cnes.fr

Le système de référence terrestre (ITRF) est défini aujourd'hui à partir de quatre techniques de géodésie spatiale : deux techniques radioélectriques de suivi des satellites (DORIS, GNSS), une technique de suivi laser (SLR) et une technique radioélectrique d'observation des quasars (VLBI), la technique d'observation optique (angulaire) n'étant plus utilisée depuis la décennie 1980.

Compte tenu de leurs caractéristiques, ces techniques apportent leur contribution propre et complémentaire et génèrent quatre systèmes de référence distincts raccordés principalement par les rattachements au sol entre les systèmes appelés « ground ties ».

Le pendant au niveau satellite consiste à raccorder les techniques par les rattachements à bord d'une même plateforme, appelés « space ties » qui, lorsqu'elles sont connues précisément, apportent des contraintes supplémentaires d'homogénéisation.

Les missions spatiales altimétriques, telles Jason, rassemblent déjà jusqu'à trois systèmes de suivi à bord et permettent d'initier cette approche combinatoire multitechnique. Reste que le réseau d'antennes VLBI, qui seul donne en sus la référence au système céleste (ICRF), est exclu dans la combinaison.

Pour pallier ce manque, deux projets de satellites équipés des quatre systèmes de positionnement ont été proposés, l'un, GRASP, à la NASA dans le cadre des missions Earth Venture, l'autre, E-GRASP/Eratosthenes, à l'ESA dans le cadre des missions Earth Explorer, avec l'objectif premier de déterminer de façon homogène le système de référence terrestre au millimètre près avec une dérive du dixième de millimètre par an. Après un petit historique, je présenterai les missions proposées avec leurs instruments et présenterai leur impact attendu sur les sciences d'application.

* Océan et Atmosphère *

Reconstruction, sauvegarde et analyse des données historiques de hauteurs d'eau : exemple de la reconstruction de la série marégraphique de Saint-Nazaire depuis le 19ème siècle

Ferret, Y. (SHOM); Donato, V.; Pouvreau, N.

Contact : nicolas.pouvreau@shom.fr

L'étude du changement climatique global et son influence sur les variations du niveau marin à plus ou moins long terme constitue un enjeu sociétal fort. A ce titre, l'analyse de chroniques historiques pluriséculaires de hauteurs d'eau se révèle être un moyen idéal pour parvenir à fournir des arguments pertinents quant aux tendances observées. Actuellement en France, seules les séries de Brest, Marseille et du littoral charentais, ont une durée supérieure à 100 ans et sont disponibles au format numérique. Pourtant un état des lieux des données historiques de hauteur d'eau met en évidence le fait que malgré

un patrimoine marégraphique français conséquent, la majorité de ces mesures du niveau de la mer est encore sous forme analogique et n'est donc pas prise en compte dans les études. Dans ce contexte, cette présente étude permettra de pérenniser l'ensemble des connaissances acquises à Saint-Nazaire depuis 1821.

Pour cette étude, quatre objectifs ont été identifiés :

- Pérenniser l'ensemble des mesures du niveau marin réalisées à Saint-Nazaire depuis 1863 et constituer une chronique cohérente de qualité ;
- Appréhender l'influence locale de la Loire et/ou des modifications anthropiques sur l'évolution des composantes du niveau marin observées ;
- Améliorer la connaissance de l'évolution du niveau marin sur le littoral atlantique français ;
- Apporter des éléments primordiaux pour l'étude séculaire des niveaux extrêmes (amélioration des statistiques dans le cadre de mise en place des PPRL-PPRI par exemple).

Génération des ondes longues océaniques contrôlée par des processus non-adiabatiques

Quentin J. (Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale, IUEM), Huck, Thierry ; Arzel, Olivier ; Colin de Verdière, Alain ; Hochet, Antoine ; Vic, Clément

Contact : quentin.jamet@univ-brest.fr

Aux échelles multidécennales (> 10 ans), le mode de variabilité principal de l'Atlantique Nord est connu sous le nom de AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation). Il est associé à un cycle de réchauffement/refroidissement des températures de surfaces de l'océan (SST, Sea Surface Temperature) d'environ 0.2 K sur une période de 50 à 70 ans. Ce mode de variabilité est révélé par les observations océaniques, mais les causes qui lui donnent naissance restent mal comprises. Dans cette étude, nous portons notre attention sur un mécanisme qui reçoit un intérêt grandissant. Ce mécanisme relie la variabilité basse fréquence de l'Atlantique Nord, à la propagation d'est en ouest d'anomalies de densité comme des ondes de Rossby. Alors que des études numériques idéalisées mettent en avant un processus d'instabilité barocline de grande échelle pour expliquer la génération de ces ondes, une étude récente (Hochet et al., 2016) montre que le formalisme majeur de l'instabilité barocline ne permet pas de mettre en évidence un tel processus dans l'océan réel. Il est cependant délicat de conclure sur la robustesse du mécanisme, puisque ces résultats divergents sont obtenus avec deux approches différentes. Les études idéalisées appliquent une approche diagnostique (bilan de variance) aux données issues de modèles numériques, alors que Hochet et al. (2016) appliquent une approche prognostique (analyse locale de stabilité linéaire) à l'état moyen de l'océan mondial.

Dans cette étude, nous comparons les résultats de ces deux approches, lorsque ces dernières sont appliquées à un même jeu de données. Les données utilisées sont celles issues d'une simulation numérique idéalisée, connue pour reproduire le mécanisme de variabilité basse fréquence de l'Atlantique Nord qui nous intéresse. Il s'agit d'une configuration du MITgcm (Massachusetts Institute of Technology general circulation model) à 1° de résolution horizontale (océan et atmosphère), où la géométrie de l'océan est idéalisée. Le fond est plat, et l'Atlantique est représenté par un petit bassin, délimité par deux barrières méridiennes, orthogonales l'une à l'autre. En suivant les études numériques antérieures, l'origine des ondes de Rossby est tout d'abord diagnostiquée à l'aide d'un bilan de variance. Aux hautes latitudes, le bord est et le bord ouest apparaissent comme des régions sources pour la génération de variance. Nous appliquons ensuite l'analyse locale de stabilité linéaire dans le formalisme quasi-géostrophique. Cette analyse constitue le formalisme majeur de l'instabilité barocline. Elle permet d'estimer si localement, l'état moyen de l'océan est instable vis-à-vis de l'instabilité barocline. En suivant les travaux de Hochet et al. (2016), nous réalisons dans un premier temps cette analyse dans des conditions adiabatiques et sous l'approximation des ondes longues. En conditions adiabatiques, cette approximation est nécessaire pour réaliser une étude à grande échelle. Nos résultats sont cohérents avec ceux de Hochet et al. (2016). Les régions les plus instables sont observées aux basses latitudes. Ils sont cependant en désaccord avec les résultats obtenus à l'aide de l'approche diagnostique (bilan de variance).

Pour finir, nous implémentons deux processus non-adiabatiques dans l'analyse de stabilité, à savoir la viscosité cinématique turbulente et un rappel à la surface de l'océan. L'utilisation de la viscosité

cinématique turbulente permet de filtrer les modes de méso-échelle tout en relaxant l'approximation des ondes longues. Sous ces conditions, l'instabilité aux basses latitudes est fortement amortie, et les régions les plus instables sont observées aux hautes latitudes, le long du bord est et du bord ouest. Les résultats de l'analyse de stabilité sont maintenant en accord avec ceux obtenus à l'aide de l'approche diagnostique. Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives pour analyser la nature instable de l'état moyen de l'océan mondial vis-à-vis de l'instabilité barocline de grande échelle.

Analyse des cartes de courant de surface à l'aide de radars HF côtiers

Machard, P.-A. (SHOM); Dumas, F.; Sicot, G.

Contact : guillaume.sicot@ensta-bretagne.fr

La zone littorale concentre un nombre important d'enjeux scientifiques et économiques. Les influences conjointes des vagues, de la bathymétrie, de la marée et du vent en font une zone où les phénomènes physiques mis-en-jeu sont complexes, à haute fréquence et petites échelles d'espace associées. La mesure de paramètres physiques adaptés à la description de ces processus est indispensable pour améliorer notre compréhension de leur dynamique et de leur interaction.

Ce travail s'intéresse à la mesure des courants de surface à l'aide de radars océanographiques côtiers qui est un outil d'observation du milieu marin côtier. Il permet de mesurer très régulièrement (toutes les 10 minutes) les courants de surface à relativement haute résolution. Plusieurs méthodes d'estimation des courants de surface existent et produisent des cartes avec des caractéristiques différentes (portée limite, capacité à représenter des phénomènes à haute résolution). Ces résultats issues des mêmes données conduit à s'interroger sur l'adéquation de la carte de courant avec les mesures radar. L'approche présentée a donc pour objectif de vérifier si les cartes de courant de surface produites sont bien représentatives des signaux mesurés. Nous allons, pour cela, réaliser le processus d'estimation dans le sens inverse en utilisant les cartes de courants de surface pour simuler les signaux mesurés par les radars. Ces signaux simulés sont ensuite comparés aux signaux mesurés. Les différences observées et représentées elles-mêmes sur des cartes vont nous permettre d'identifier les phénomènes bien décrits et ceux qui le sont moins.

La zone d'étude est la mer d'Iroise observée par deux radars HF côtiers du SHOM depuis 2006. Cette zone est très intéressante puisqu'elle présente des variations importantes de courants sur de faible échelle spatiale autour de l'île d'Ouessant (courant du Fromveur) et de l'archipel de Molène.

Thermohaline variability of the upper ocean : documenting the specific role of salinity in the Tropics.

Maes, Ch. (LOPS/IRD)

Contact : christophe.maes@ird.fr

Since the mid-1980s observational studies in the western Pacific Ocean have suggested that the barrier layer resulting from the salinity stratification within the mixed layer could influence significantly ocean-atmosphere interactions, and consequently the variability of ENSO. In addition, despite considerable progress in the representation of the tropical mean state and climate variability by coupled ocean-atmosphere general circulation models, several studies have concluded that it is not yet possible to say whether ENSO activity will be enhanced or damped by global warming. In the Pacific Ocean, a stringent test for models is a correct representation of the mean zonal SST gradient along the equator and a correct position of the salinity front separating the Western Pacific Warm Pool from the central cold waters. For instance, it remains difficult for most of the CMIP5 coupled models to simulate the mean longitude, the interannual excursions, and the zonal convergence of ocean currents associated with the WPWP. One major ingredient that also needs some improvements is the simulation and the generation of the salinity barrier layer that is a key element of the whole Pacific ocean-atmosphere coupled system.

While SSS and barrier layer variability in the equatorial Pacific have been investigated in previous studies, it has been possible only recently to combine the SSS measurements from satellite missions like SMOS and Aquarius with the vertical structure at depth as observed by the Argo floats, in order to monitor salinity variations with accuracy within the Pacific basin. The availability of these unique data sets also raises some new questions about the conceptual view of the ocean vertical structure that is based on a definition of several layers within which the water properties exhibit different degrees of vertical uniformity. A new perspective is proposed for describing the impact of the salinity on the static stratification of the oceanic upper layers, using a methodology keyed to the Brunt-Vaisala frequency, N_2 . This perspective recognizes that the stabilizing effect of the salinity operates near the bottom of the mixed layer but that its effect could be expanded downward to the main pycnocline and to regions where both the salinity and temperature are mixed over the same depth. Significant seasonal variations in N_2 profiles are found to be limited to the upper 300 m depth, and in several regions of the tropics, the salinity part contributes 40–50% to N_2 , approximately equal to the thermal stratification contribution. Another important area of research concerns the small-scale variability that could be questioned conjointly with the satellite and the few in situ observations.

Towards Improvement of the Estimation of Turbulent Heat Flux over Global Oceans

Bentamy, A. (Ifremer); Piollé, J. F.; Grouazel, A.; Paul, F.; Azelmat, H.; Mathieu, P. P.; Schuchmann, K. V.; Sathyendranah, S.; King, H. E.; Danielson, R.; Esau, I.; Johannessen, J.; Gulev, S.; Clayson, C. A.; Pinker, R.; Grodsky, S.; Bourassa, M.; Smith, S. R.; Haines, K.; Valdivieso, M.; Merchant, C.; Chapron, B.; Anderson, A.; Hollmann, R.; Simon, J.

Contact : abderrahim.bentamy@ifremer.fr

For over a decade, several scientific groups have been developing air-sea heat flux datasets, including latent (LHF) and sensible (SHF) heat fluxes over global oceans. This paper aims at proving a new insight of the quality and error characteristics of daily turbulent heat flux estimates at various spatial and temporal scales. The study is performed within the European Space Agency (ESA) Ocean Heat Flux (OHF) project. One of the main objectives of OHF project is to meet the recommendations and requirements expressed by various international programs such as World Research Climate Program (WCRP) and Climate and Ocean Variability, Predictability, and Change (CLIVAR), dealing with the characterization of existing flux errors with respect to the input bulk variables (e.g. surface wind, air and sea surface temperatures, air and sea specific humidities) and to the atmospheric and oceanic conditions. The quality analysis is based on the use of daily averaged LHF and SHF and the associated bulk variables derived from satellite-based (Institut Français pour la Recherche et l'Exploitation de la MER, IFREMER V3, Hamburg Ocean-Atmosphere Parameters from Satellite, HOAPS V3, SeaFlux V1, and Japanese Ocean Flux Data sets with Use of Remote Sensing Observations, J-OFURO V2), hybrid (Objective Analysis Fluxes, OAFux V2), reanalysis (European Center for Medium Weather Forecasts (ECMWF), ERA Interim, National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Climate Forecast System Reanalysis, CFSR, and National Aeronautics Space Administration (NASA) Modern Era Retrospective Analysis for Research and Application, MERRA) data.

The inter-comparisons of heat flux datasets indicate that all products exhibit similar space and time patterns. However, they also reveal significant magnitude differences in some specific regions such as western boundary during North Hemisphere winter season, and south high latitude region. The differences tend to be highly related to large differences in surface wind speeds and/or specific air humidity for LHF, and to air and sea temperature differences for SHF. Further quality investigations are performed through comprehensive comparisons with daily-averaged LHF and SHF estimated from moorings. The resulting statistics are used to assess the error of each OHF product. The OHF LHF and SHF and the associated error characteristics are both used for the estimation of daily ensemble LHF and SHF, named OHF/MPE, over OHF grid map of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ over ice-free global ocean. The heat product accuracy, determined from mooring estimates at local and regional scales, indicate that OHF/MPE is more accurate than any product contributing or not to ensemble calculation. OHF/MPE is used as a reference for further characterizing the strengths and weakness of each OHF product.

Réanalyses du 20^esiècle

Poli, P. (Météo-France); Laloyaux, P.

Contact : paul.poli@shom.fr

Au cours de la dernière décennie de nouveaux jeux de données globaux ont été générés par les centres de prévision numérique. Combinant modèles et observations grâce à l'assimilation de données, les réanalyses cherchent à fournir une représentation cohérente du temps passé, tout en permettant de suivre les évolutions aux échelles de temps climatiques. La présentation s'attachera à exposer la méthodologie de ces réanalyses globales du 20^eème siècle : la réanalyse américaine (20CR), la réanalyse européenne (ERA-20C), ainsi qu'une nouvelle réanalyse européenne couplée océan-atmosphère (CERA-20C). Sur la base de diagnostics et de comparaison aux observations, la présentation suggèrera qu'il reste encore des progrès à faire concernant en particulier la représentation des variations de basse fréquence. Toutefois, les réanalyses déjà produites représentent une étape importante pour améliorer notre compréhension des événements météorologiques passés dans le contexte climatique.

Les organisations internationales dans le domaine de l'océanographie

Boucher, C. (CNFGG)

Contact : claude-boucher@club-internet.fr

L'océanographie est un domaine dont l'importance ne fait que croître tant sur un plan scientifique que sociétal. La multiplicité et la diversité des organisations internationales relatives à l'océanographie est une situation qu'il est bon de connaître pour mieux orienter l'action des chercheurs, notamment pour identifier des thèmes prioritaires de recherche, ou pour développer des collaborations. Cette présentation s'attache à inventorier ces diverses organisations, telles que l'Association internationale des sciences physiques de l'océan (IAPSO) de l'UGGI, ou la Commission océanographique intergouvernementale (IOC) de l'UNESCO. La Plateforme Océan-climat sera également décrite.

* Géodynamique *

Observation des tsunamis depuis l'espace par sismologie ionosphérique

Rolland, R. (OCA/Géoazur); Rakoto, V.; Sladen, A.; Lognonné, Ph.

Contact : lrolland@geoazur.unice.fr

L'ionosphère est sensible aux tsunamis d'amplitude 2 cm et plus et de récents réél qu'il est maintenant possible de mesurer l'amplitude du tsunami à partir de sa signature ionosphérique. Nous nous intéresserons à l'occasion de ce colloque G2 aux applications potentielles d'un tel dispositif ainsi qu'aux aspects plus instrumentaux en équipant des mobiles tels que bouées et bateaux de capteurs GNSS qui peuvent contribuer à prévenir les risques naturels météorologiques, ainsi que plus spécifiquement les tsunamis, tout en contribuant à l'observation du niveau des mers. Nous discuterons comment tirer partie des derniers développements de l'outil GNSS, avec des récepteurs toujours plus légers et moins consommateurs en énergie, des stratégies de calcul en constant progrès tandis que des expériences de bouées GPS sont menées depuis quelques années.

Structure et dynamique de la Dorsale Sud-Est Indienne, 129° E à 140° E, et du volcanisme hors-axe : Premiers résultats de la campagne océanographique STORM

Briais, A. (GET, CNRS-UPS-IRD-CNES, Obs. Midi-Pyrénées); Arrère, F.; Boulart, C.; Ceuleneer, G.; Ferreira, N.; Hanan, B.; Hémond, Ch.; Macleod, S.; Maia, M.; Maillard, A.; Merkurjev, S.;

Park, S.-H. ; Révillon, S. ; Ruellan, E. ; Schohn, A. ; Watson, S. ; Yang, Y.-S.

Contact : anne.briais@cnr.fr

Nous présentons les observations de la Dorsale Sud-Est Indienne (SEIR) collectées pendant la campagne océanographique STORM (South Tasmania Ocean Ridge and Mantle) sur le N/O L'Atalante en janvier-février 2015. La SEIR entre l'Australie et l'Antarctique montre de grandes variations de morphologie et profondeurs axiales, bien que le taux d'accrétion, intermédiaire, y soit constant, voisin de 70 mm/an. La discordance Australie-Antarctique (AAD), section de la SEIR entre 120° E et 128° E, est une section de dorsale où l'approvisionnement magmatique est anormalement faible, et qui marque la limite entre le manteau de type Pacifique et le manteau de type Indien, aux caractéristiques isotopiques distinctes, notamment en Pb et Sr. Le projet STORM s'intéresse à la zone située à l'est de l'AAD entre 128 et 140° E, appelée Zone A dans la littérature, où les données gravimétriques déduites de l'altimétrie montrent une grande quantité de volcans hors-axe sur les flancs de la SEIR.

Un objectif majeur du projet STORM est de tester l'hypothèse que la forte alimentation en magma de l'axe de la SEIR et des volcans hors-axe dans la Zone A est liée à un flux de manteau Pacifique vers l'ouest, en pénétrant progressivement le domaine de manteau Indien. Nous avons collecté des données de bathymétrie multifaisceaux et des données magnétiques entre 136 et 138° E en levant une carte des fonds marins jusqu'à des âges d'environ 10 Ma au sud et 5 Ma au nord. Nous avons cartographié le nord du système de failles transformantes George V vers 140° E. Nous avons également couvert l'axe de la dorsale entre 130° E et 140° E, ainsi que deux segments intra-transformants. Nous avons collecté des échantillons de roche sur les monts sous-marins hors-axe et dans le système de faille transformante, ainsi que des échantillons de verre basaltique le long de l'axe de la dorsale. Des mesures in situ et des prélèvements d'eau de mer ont été réalisés sur certains sites le long de l'axe et dans la faille transformante. Nos observations préliminaires révèlent que les volcans hors-axe se forment relativement proche de l'axe de la dorsale, parfois près de traces de discontinuités de l'axe, et que loin de la faille transformante, le volcanisme hors-axe ne correspond pas à des zones de déformation de la lithosphère océanique. Les premières observations pétro-géochimiques montrent que les volcans hors-axe sont constitués de MORBs avec une grande variabilité entre des basaltes très primitifs et des basaltes très différenciés. Dans la faille transformante, nous avons mis en évidence un massif d'origine tectonique sans doute mis en place par transpression dans le système de faille, où nous avons prélevé des serpentines. La morphologie de l'axe et la diminution de profondeur d'ouest en est suggère une augmentation de l'alimentation magmatique de l'axe vers la faille transformante. Le long de l'axe de la SEIR et au voisinage du massif de serpentinites, des anomalies physico-chimiques dans l'eau de mer suggèrent la présence de plusieurs sites hydrothermaux.

Un nouveau projet de campagne en mer se propose d'aller découvrir et caractériser les sites hydrothermaux dans la zone STORM.

Changement majeur du régime de déformation tectonique des Alpes occidentales depuis les années 80-90 : instabilité liée à un effondrement gravitaire de la chaîne ?

Ménard, G. (EDYTEM, Université Savoie-Mont Blanc)

Contact : gilles.menard@univ-smb.fr

Un certain nombre de comparaisons de données géodésiques historiques acquises par l'IGN durant le XXème siècle dans les Alpes occidentales ont montré des déplacements significatifs tant sur les données altimétriques (comparaisons de nivellements) que planimétriques (comparaisons de triangulations). La plupart de ces résultats ont fait l'objet de mesures ultérieures destinées à les valider et à les préciser (densification). Pour le nivellement, à l'exception des zones d'affaissement localisé (7 sites dans des plaines alluviales) qui confirment les vitesses historiques (1 à 3 mm/an), toutes les autres mesures, en particulier les failles (6 sites ; 1 à 3,5 mm/an), montrent une modification des vitesses (arrêt ou ralentissement) depuis la dernière mesure de l'IGN (années 80). Pour le cas le mieux documenté, la faille de l'Eau d'Olle (massif de Belledonne), le changement est contraint à quelques années près (entre 1994 et 1999). En ce qui concerne les basculements régionaux une inversion des mouvements a été

observée en Maurienne après 1995 (à rapprocher de l'exemple précédent, situé à quelques dizaines de km de distance), avec un affaissement de l'amont à 1-2 mm/an passant à un affaissement de l'aval à 4-5 mm/an. Cette dernière valeur, qui peut sembler très élevée, est confirmée par les données acquises autour du point GPS permanent de MODA. Un phénomène analogue a été mis en évidence en haute Ubaye avec un basculement à 2 mm/an vers l'aval sur les données historiques, confirmé en 2005, passant à un basculement à 4 mm/an vers l'amont en 2014. L'année du changement de régime correspond ici très probablement à 2003, début de la crise sismique atypique de l'Ubaye.

De manière analogue des données de planimétrie (en traditionnel) entre les massifs des Bornes-Aravis et leur avant-pays, complétées par des mesures ultérieures par GPS ont montré un ralentissement voire un arrêt de l'écartement entre le massif des Bornes et l'avant-pays (vitesse historique supérieure au cm/an) ainsi qu'un arrêt du rapprochement entre ces deux massifs vers la fin des années 80. Cette dernière modification est confirmée par des comparaisons de nivellements à la jonction Bornes-Aravis qui sur les données historiques montraient une surrection à 2 mm/an, laquelle s'est arrêtée ultérieurement. Toutes ces données plaident donc en faveur d'un changement majeur du régime de déformation des Alpes occidentales à la fin du siècle dernier changement qui semble en outre migrer du N vers de S (près de 200 km en 15 ans).

L'éventualité que ces modifications soient des artéfacts liés au changement de technique de mesure peut être envisagée pour la planimétrie (passage du traditionnel au GPS) mais pas pour l'altimétrie, laquelle concentre la majorité des observations. Si l'absence de mouvements horizontaux significatifs depuis l'installation des réseaux GPS permanent ne concerne que la période post-changement de régime de déformation, ce problème reste néanmoins entier. La question du caractère exceptionnel ou fréquent de ce type de modification est posée ainsi que celle de savoir si c'est le régime d'avant ou d'après les années 90 qui est le plus représentatif de la déformation longue durée.

L'importance des modifications mises en évidence est incompatible avec la logique plaquiste, comme cela est déjà suggéré par l'absence de mouvements horizontaux aux limites de la chaîne. Seule une logique gravitaire, avec la possibilité d'instabilités à toutes les échelles de temps et d'espace, peut permettre d'espérer rendre compte de ces observations. Les mouvements associés à cette logique gravitaire sont interprétés comme la conséquence de la superposition de deux phénomènes : une surrection régionale de grande longueur d'onde (cause principalement mantellique) à au moins 5 mm/an, qui resterait constante sur l'échelle de temps considérée, et des phénomènes d'affaissement gravitaire (glissement et/ou étalement) affectant certains domaines. Ce sont ces derniers phénomènes, qui peuvent eux-mêmes être décomposés en 2 composantes, longitudinale et transversale à la chaîne, qui seraient affectés par les modifications évoquées plus haut. Pour le secteur de la Maurienne une bonne partie des observations peut être expliquée par une modification de l'extension transverse à la chaîne qui passerait d'une cinématique vers l'Est contrôlée par un décollement à pendage est (chevauchement pennique frontal repris en détachement) à une cinématique contrôlée par un décollement à pendage ouest (ancien rétrochevauchement). La rapidité de ce changement n'est guère compatible qu'avec une modification (arrêt ou mise en place) de circulations de fluides aux profondeurs contrôlant les décollements crustaux, circulations devant ainsi présenter un caractère intermittent.

Deformation pattern of the Western Alps from two decades of campaign and permanent GNSS measurements

Walpersdorf, A. (Université Grenoble Alpes, ISTerre); Pinget, L.; Vernant, Ph.; Sue, Ch.; RENAG Team

Contact : andrea.walpersdorf@univ-grenoble-alpes.fr

Since the permanent GNSS stations in the Western Alps have exceeded 10 years of measurements, their individual horizontal velocities converge to amplitudes of less than 0.3 mm/yr with respect to stable Europe. Facing these small displacement rates, the availability of a velocity field based on GNSS campaign data over 22 years and several independent velocity solutions based on up to 16 years of permanent GNSS data is the opportunity to search for persistent (and therefore reliable) deformation patterns in the Western Alps for a tectonic interpretation.

The velocities of 15 campaign stations compare within 0.16/0.20/1.32 mm/yr on the N/E/U components to nearby permanent stations. Two independent velocity solutions of permanent GNSS data calculated in double differences (GAMIT software) and PPP mode (CSRS software) can be superposed within 0.15 mm/yr on the horizontal components and 0.44 mm/yr on the vertical.

While individual velocities are still too uncertain to be interpreted, a global deformation pattern based on the combination of campaign and permanent stations confirms EW extension as observed by a preliminary GNSS solution from 2002 and by regional campaign networks in the inner W-Alps. However, the observed amplitudes are now 10 times smaller than the ones published in the 2000's (0.6 nanostrain/yr over a zone large of 150 km, 2.6 nanostrain/yr over the inner 50 km of the belt).

The analysis of both campaign and permanent GNSS velocities on profiles across the belt highlights zones of extension in the center of the belt (12.5 - 15.3 nanostrain/yr in the northern and central part, 3.1-3.3 nanostrain/yr in the southern part), but also some compression along the eastern and western border of the belt (2.6-8.1 and 1.3-1.5 nanostrain/yr in the northern and central part, and in the south, respectively). This result is confirmed and strengthened by the comparison of the double difference and the PPP solution.

This contrasted geodetic deformation pattern is largely coherent with earthquake focal mechanisms and related strain/stress patterns over the entire W-Alps. The GNSS results finally provide reliable regionalization and quantification of the strain rates.

* Méthodes d'observation en géophysique marine : observatoires *

Observatoire acoustique sous-marin : proposition pour une solution autonome long-terme

Royer, J.-Y. (Lab. Géosciences Océan, Brest); Hello, Y.; Yegikyan, M.

Contact : jean-yves.royer@univ-brest.fr

Les océans recouvrant 71% de la surface terrestre, la caractérisation exhaustive du paysage acoustique sous-marin constitue un formidable défi, en particulier en domaine hauturier. Grâce aux propriétés acoustiques exceptionnelles de l'océan, un réseau de quelques hydrophones (5-6) peut surveiller des régions de grandes dimensions (e.g. 3000 x 3000 km²). Les solutions techniques vont de stations temps-réel câblées jusqu'au rivage, aux mouillages entièrement autonomes et donc avec un accès aux données en temps différé. Nous proposons une solution intermédiaire, autonome, mais permettant d'accéder aux données à volonté via des messagers récupérables par des navires d'opportunité.

De nos jours, le réseau de l'Organisation du traité d'interdiction des essais nucléaires est le seul réseau (civil) câblé opérationnel dans l'océan ouvert. Les stations sont toutefois limitées en nombre (11) et nécessairement proches d'îles ou de continents. Des mouillages autonomes transmettant les données en temps réel par satellite s'avèrent complexes, coûteux à mettre en œuvre et vulnérables. Chaque station doit comprendre une bouée de surface pour l'énergie et systèmes de communication, un mouillage immergé découplé de la surface pour l'acquisition acoustique, et un système de communication entre les deux.

Pour s'affranchir de ces difficultés, l'essentiel de la surveillance acoustique en milieu hauturier a recours à des réseaux d'hydrophones autonomes. Mise en œuvre depuis une vingtaine d'années dans les océans Pacifique, Atlantique et Indien, cette approche s'avère fiable et robuste. Afin de limiter le temps-bateau, les données sont récupérées avec les mouillages tous les ans ou 2 ans; en conséquence, l'électronique embarquée et la stratégie d'échantillonnage sont optimisées pour réduire la consommation d'énergie. Typiquement, un échantillonnage à 250Hz permet des enregistrements continus de 1 à 2 ans. Cette bande de fréquence (0-125 Hz) est tout à fait adaptée pour surveiller l'activité sismique et volcanique sous-marine, les bruits d'origine cryogéniques, les grandes baleines, le trafic maritime et le bruit basse-fréquence en général. La localisation des sources par triangulation nécessite une synchronisation des instruments et donc des horloges précises (dérive de l'ordre de 10⁻⁸ s/s).

La solution proposée tente de concilier deux exigences : un accès facilité aux données et une autonomie de longue durée – 3 à 4 ans – pour limiter les opérations de redéploiement. Le dispositif comprendra trois

parties : une unité centrale d'acquisition, semblable aux instruments existants, une centrale acoustique, et une série de messagers largables pour récupérer les données. La ligne de mouillage restera classique, avec un lest perdu pour maintenir la ligne sur le fond, un largueur acoustique pour libérer la ligne, une ligne ajustable à la hauteur d'eau et une bouée immergée abritant le dispositif d'acquisition, maintenant l'hydrophone à une profondeur constante, et capable de ramener la ligne en surface pour sa récupération. L'acquisition sera basée sur un processeur très basse consommation, une numérisation 32 bits des signaux analogiques à 250 Hz, une horloge de précision (10-8), un stockage sur mémoire flash et une alimentation offrant 3-4 ans d'autonomie. Le module de communication acoustique avec la surface permettra d'établir un bulletin de santé de la station lors des visites. La synchronisation de l'horloge avec l'heure GPS sera automatique avant déploiement et dès que la bouée fera surface. Un module de repérage en surface complètera le dispositif : flash, GPS, émission d'un signal AIS et de sa position par satellite (SMS/mel) en cas de remontée imprévue du mouillage.

Les messagers, logés dans des sphères en verre, seront dotés du même CPU et horloge que la station mère. Les données entre messagers et système central seront transmises par induction numérique à travers l'eau. Cette technique sans fil permet des transferts de 1 Mbit/s, même dans une eau turbide. Les données seront dupliquées une fois par jour de la station mère vers les messagers N et N+1 pour redondance. Les messagers seront largués sur demande par commande acoustique. Avant largage, les horloges du messenger et de la station centrale se synchroniseront entre elles ; une fois en surface, le messenger se synchronisera avec l'heure GPS et mesurera ainsi la dérive d'horloge. Comme la station mère, chaque messenger sera équipé d'un système de repérage (GPS, AIS, flash), dont les signaux pourront être visualisés à bord pour faciliter la récupération.

Le système sera ainsi conçu pour permettre à un non-spécialiste de récupérer les messagers ou la station principale. Une unité pourra gérer 2 à 4 messagers. Développée pour enregistrer 4 voies, l'acquisition est ouverte à d'autres capteurs : plusieurs hydrophones (antenne), capteurs environnementaux, ADCP, etc. Ce nouveau dispositif pourra ainsi répondre à d'autres besoins d'observations long-terme de la colonne d'eau.

Un observatoire sous-marin dans la baie des Anges

Bompais, X. (Ifremer); Garziglia, S. (Ifremer); Deschamps, A.; Hello, Y.; Rivet, D.

Contact : xavier.bompais@ifremer.fr

L'Ifremer et Géoazur viennent de mettre en service un observatoire sous-marin au large de Nice. Les chercheurs ont désormais accès aux mesures de leurs instruments en direct, via Internet.

L'opération s'est déroulée en deux temps. L'infrastructure sous-marine et terrestre a été déployée en octobre 2015 puis trois instruments y ont été connectés en septembre 2016 : deux piézomètres et un sismomètre large bande. Cet observatoire est le fruit d'une collaboration entre l'Ifremer à Brest, Géoazur et le CNRS à Sophia Antipolis et l'Observatoire océanologique à Villefranche-sur-mer.

L'objectif scientifique est d'observer les mouvements de la couverture sédimentaire, notamment les instabilités gravitaires au large de Nice : évaluer les facteurs prédisposant et déclenchant ces instabilités et caractériser la dynamique de l'écoulement une fois le déclenchement survenu.

Implantée par des fonds de vingt à trente mètres, l'infrastructure sous-marine est composée d'un câble électro-optique d'environ deux kilomètres et d'enceintes électroniques assurant à la fois la communication avec les instruments et leur alimentation électrique. A terre, elle est reliée à des serveurs informatiques connectés à Internet, ce qui autorise le contrôle et la configuration à distance des instruments ainsi que l'affichage en temps réel de leurs mesures. Le sismomètre est intégré à RESIF, le réseau sismologique et géodésique français. Deux ports de connexion sont disponibles pour accueillir d'autres instruments. Une extension est prévue en 2017, avec six ports supplémentaires.

L'observatoire est une partie intégrante de l'infrastructure de recherche EMSO-France, contribution française à l'ERIC EMSO, établi à Rome le 29 septembre dernier (ERIC : European Research Infrastructure Consortium).

Le développement et le déploiement de l'observatoire ont été réalisés sous la maîtrise d'œuvre de l'Ifremer, avec un budget de l'ordre de 700 k€ (hors frais de personnel). Ils ont bénéficié d'un financement

de la région PACA et du FEDER, à hauteur de 510 k€ dans le cadre du projet Prima-Oceanomed piloté par Géoazur (FEDER : Fond européen de développement économique et régional).

A versatile Multiparameter Ocean Bottom System in the Mediterranean sea

Hello, Y. (Geoazur-IRD); Charvis, Ph.; Yegikyan, M.; Rivet, D.; Deschamps, A.

Contact : yann.hello@geoazur.unice.fr

Continuous monitoring of oceans is the next great scientific and technical challenge. Recently several cabled sea bottom observatories were developed in Canada (Neptune), in Japan (DONET) and in France (Antares) for real time monitoring of seismic activity, dynamics of the water column, global environmental changes, observation of marine life, the detection of neutrinos, etc. Nevertheless, these initiatives are costly to install and to maintain and it is unlikely that we can deploy many similar observatories in the near future.

Among the most recent alternative we developed a 3-years autonomy system equipped with a Nanometrics Trillium 120 s, a triaxial accelerometer, a differential and an absolute pressure gauge, and a hydrophone. MUG-OBS (Multiparameter Geophysical Ocean Bottom system) is a free falling instrument rated down to 6000 m for the monitoring of geophysical signals (earthquakes, submarine landslides, other transient signals, ...). The major innovation is that it is possible to recover the data any time on demand (regularly every 6-months or after a crisis) using one of the 6 data-shuttles released from the surface by acoustic command.

The MUG-OBS prototype was tested in situ twice for a short period of one week in the bay of Villefranche-sur-mer (French Riviera) in November 2015 and March 2016. During these periods we were lucky to record several teleseismic events with an excellent signal to noise ratio. In November 2016 the instrument will be deployed in the Ligurian sea, 35 miles offshore the city of Nice, for a three-years period, to extend offshore the regional land seismic network.

MUG-OBS is a user friendly design and once installed can be maintained by non-specialists to recover data using ship of opportunity. This make it a good challenger to be deployed along the subduction of South America in the frame of the future Subduction Zone Observatory.

Such a sea bottom system could also be equipped with other sensors (ADCP, underwater Methane sensor, CO2 flow-through sensor, ...) and could be used as a multidisciplinary platform for the environmental monitoring of the deep Ocean.

*** Méthodes d'observation en géophysique marine : acoustique ***

A versatile Oceanographic profiler dedicated to Seismometry in the Oceans

Hello, Y. (Geoazur-IRD); Nolet, G.; Bonnieux, S.; Yegikyan, M.

Contact : yann.hello@geoazur.unice.fr

The last major frontier to conquer in seismology is the oceanic domain. But this is about to happen, using floating seismometers called « Mermaids ».

Mermaids have been developed to improve seismic data coverage in the oceanic domain for imaging of the Earth's interior. The first generation of Mermaids was housed in conventional Argo-type floats, while hardware and software was developed to analyze acoustic signals. These robots are equipped with a hydrophone, capable of detecting P and PKP wave arrivals while floating at 1500 m depth in the ocean and of transmitting short seismograms in quasi-real time when surfacing after a detection. Since 2012, we have deployed small test networks of Mermaids in the Indian Ocean, and in the Mediterranean sea, and since May 2014, nine Mermaids have been in operation around the Galapagos islands to image the deep plume structure. By the end of June 2016, 1003 seismograms had been transmitted, of which 589 have been associated with known earthquakes observed with fixed networks. Since then, we have moved from typical cylinder container, to a more suitable spherical design, which allows for a larger

power supply and more versatile payload. The lifetime of the new Mermaids is 6 years if sampling continuously for seismic signals. The passband can be widened to allow for monitoring of whale and dolphin sounds. An interface board allows connecting up to 8 external sensors to serve other goals (bio-Argo, geochemical, meteorological). This year we have started collaboration with Sea-Trec to equip the Mermaids with an optional new green renewable power source to guaranty its 6 years lifetime even with a full payload. The Mermaids monitor continuously during the parking phase when drifting freely at a depth down to 3000m, but also provides Argo profiles. We are collaborating with Sea-Bird to customize an SBE41 to equip the Mermaid for salinity measurements. The first stage of a global network, EarthScope-Oceans, will be launched in 2017, and is planned to grow to 500 units to image the deep interior of the Earth.

GEODESEA : première expérience française de GNSS/Acoustique dans la perspective du déploiement d'un réseau opérationnel dans les Antilles

Sakic, P. (Université de La Rochelle / LIENSs); Ballu, V.; Royer, J.-Y.; Piété, H.; Poirier, E.

Contact : pierre.sakic@univ-lr.fr

Les GNSS sont devenus depuis une vingtaine d'années un outil essentiel pour rendre compte des déformations de la surface terrestre, permettant la modélisation des phénomènes tectoniques et ainsi une meilleure évaluation du risque sismique et tsunamique associé. Cependant, ces techniques de géodésie spatiale, basées sur des signaux électromagnétiques sont inopérantes en domaine sous-marin où se situe l'essentiel des frontières de plaques actives. Ces mesures sont pourtant primordiales dans de nombreuses zones de subduction comme l'arc des petites Antilles par exemple. En effet, les observations géodésiques sur la faible proportion de terres émergées tendent à montrer que l'interface de subduction n'est pas bloquée sur toute sa longueur, mais la distance des îles par rapport à l'interplaque ne permet pas de discriminer entre un blocage et un glissement asismique dans la partie distale et superficielle. Il faut alors prolonger les réseaux d'observation classiques au large afin de cartographier la déformation sur l'intégralité de la zone.

La technique GNSS/Acoustique (GNSS/A) permet de déterminer à un instant donné la position de balises acoustiques installées de façon pérenne au fond de l'océan, et ainsi observer d'éventuelles déformations. Les balises sont positionnées par ondes acoustiques sous-marines depuis une plate-forme à la surface elle-même localisée précisément par GNSS dans un référentiel global. Ainsi, on obtient la position de balises sous-marines dans un référentiel global, comme dans le cas de mesures GNSS classiques.

Nous présentons ici une expérience pilote menée en France, en préparation à une future expérience aux Antilles. La mission GEODESEA avait pour but de tester le protocole d'acquisition et les méthodes de traitement associées. Elle s'est déroulée du 17 au 22 juin 2015 à bord du N/O Tethys II, au large de Nice. Nous présentons ici et la stratégie mise en jeu, ainsi que les résultats. Les écarts-types formels sont centimétriques pour 10h d'interrogations. Nous évoquerons également les perspectives futures au travers de simulations.

Long-term seafloor deformation monitoring using wireless acoustic transponders.

Kuchly, A. (Sonardyne Int Ltd); Dunn S.; Hatchell P.

Contact : aude.kuchly@sonardyne.com

Seafloor deformation monitoring is a new technology concept for offshore oil and gas reservoir monitoring. It has the potential to cheaply and continuously monitor long term production induced changes in the reservoir and overburden and the data can also be used to spot any instantaneous events such as overburden instability or fault slip. On land, subsidence is easily measured to extremely high precision using standard surveyor's tools including GNSS, theodolites and laser scanners etc. but these techniques are not suitable for submarine applications due to the inability of electromagnetic waves to propagate through seawater.

A traditional approach to measuring the extent of subsidence offshore has been with the use of bathymetric Sonars operated from surface ships but their limited precision reduces the utility of such data for subsidence monitoring purposes particularly at deeper and/or slowly subsiding fields. A more precise method makes use of the fact that deformation manifests itself as both vertical displacements of, and horizontal displacements between, monuments placed within and exterior to the subsidence region.

Noting that acoustic waves propagate readily in seawater, they can be used for the purpose of measuring horizontal displacement by transmitting signals between pairs of acoustic transponders separated by several hundred metres and then accurately determining the two-way round trip time. Since we can also measure the wave speed using sound velocity (SV) sensors we can continuously monitor the separation between pairs of transponders. Vertical displacement can be measured using integral pressure sensors and the results from multiple transponders can be compared and therefore the effects of tide, water column density and barometric pressure changes which are largely common to all instruments over long timescales, can be removed from the results leaving only the seabed depth changes remaining.

The sensor technologies required to make these precision measurements and wirelessly communicate their data to passing ships or unmanned surface drones have been developed and further refined over the last decade in a close collaboration between Shell Global Solutions and Sonardyne International Ltd. The equipment is now capable of detecting subsidence rates of a few centimetres per year and, it is hoped, this sensitivity can be improved in the near future to achieve 10 millimetres per year or better. Notably, at Ormen Lange, Norway's second largest gas field, a small trial network of Autonomous Monitoring Transponders (AMTs) was deployed on the seafloor in 2007, followed by a full-field network of 175 AMTs in 2010. This network was operational for 5 years before being retrieved at the end of the campaign in June 2016.

This presentation describes the principles of seabed subsidence monitoring, the various equipment used to make the measurements and wirelessly harvest the data, and presents the highlights of deployment, operation and recovery of the Ormen Lange AMT network. Finally a review of ongoing technology developments aimed at increasing the sensitivity of this system are presented.

SYSIF : Imagerie sismique Haute Résolution par grande profondeur

Marsset, B. (IFREMER REM/GM/LAD); Ker, S.; Riboulot, V.

Contact : Bruno.Marsset@ifremer.fr

L'étude de la stabilité du sous-sol marin requiert l'analyse des processus de déformation sédimentaire, la compréhension de la circulation de fluides et de la dynamique des systèmes hydrates mais aussi et surtout d'établir les interactions possibles entre les déformations et leurs causes. Pour réaliser l'étude de la stabilité du sous-sol marin, une approche pluridisciplinaire est nécessaire reposant sur des analyses géophysiques, géotechniques, géochimiques et géologiques. Les échelles d'espace qui sont en jeu ici sont de l'ordre de la dizaine voire de la centaine de mètres et les résolutions nécessaires sont métriques et sub-métriques, résolutions imposées par les mesures in situ réalisées par des pénétromètres, des piézomètres ou encore des capteurs géochimiques.

L'imagerie sismique à très haute résolution (1m) doit permettre une analyse détaillée des déformations sédimentaires, de réaliser des corrélations avec les mesures in situ mais aussi d'extraire des paramètres physiques avec une extension latérale complétant les informations très localisées issues des mesures in situ. Pour répondre à ces besoins par grande profondeur d'eau (400-6000 m), il est nécessaire de développer des méthodes d'acquisition et d'imagerie sismique optimisant les résolutions verticale et latérale. Atteindre une résolution métrique avec des systèmes sismiques tractés en surface est techniquement impossible du fait des limitations en résolution, en pénétration et en sensibilité pour la détermination des vitesses de propagation des ondes. Ces limitations sont toutes liées à la grande profondeur d'eau et une solution pour toutes les dépasser est de déporter l'acquisition sismique avec source et récepteurs sismiques près du fond.

L'Ifremer a ainsi, ces dernières années, conçu un système d'acquisition sismique près du fond, SYSIF, et commencé un programme de développement de techniques d'imagerie adaptées à cette géomé-

trie particulière mais également aux signaux émis par le transducteur spécifiquement développé pour supporter les fortes pressions hydrostatiques. Les derniers développements ont abouti à la conception d'une flûte multitrace permettant l'acquisition de données multi-dépôts nécessaires à la détermination des vitesses de propagation et à l'obtention de l'imagerie "profondeur".

La contribution s'attachera à présenter les développements technologiques réalisés (source et récepteur), leurs contraintes de mise en oeuvre ainsi que les premiers résultats obtenus en imagerie sismique.

Métrologie sous marine par très grand profondeur (1000m à 2000m)

Auger, F. (Total E&P)

Contact : frederic.auger@total.com

Les méthodes de métrologies sous-marines ont évolué ces dernières années, tant par l'apparition de nouvelles technologies que par la nécessité de réduire les coûts générés lors de ces opérations. Ces métrologies sont des campagnes de mesures de précision.

Dans un premier temps je présenterai l'objectif de ces métrologies et les contraintes associées.

Puis je présenterai les 3 méthodes qui sont utilisées ou en cours de développement :

- Méthode acoustique
- Méthode inertielle
- Méthode 3D Laser subsea

Le présentation sera agrémenter de 2 courtes vidéos sur des cas concrets en Angola.

*** Méthodes d'observation en géophysique marine : gravimétrie ***

La mission d'expérimentation du système de gravimétrie mobile sous-marine GraviMob

Clément Roussel (CNAM); Verdun, Jérôme; Maïa, Marcia; Cali, José; d'Eu, Jean-François

Contact : clement.roussel@cnam.fr

La mission d'expérimentation du prototype de gravimètre mobile vectoriel (GraviMob) s'est déroulée du 17 au 25 mars 2016 en mer méditerranée à bord du navire côtier L'Europe de l'IFREMER. L'objectif de cette mission consistait à acquérir des observations proches du sol sous-marin à l'aplomb de profils gravimétriques de surface réalisés par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Le traitement des données acquises et la comparaison aux données de référence du SHOM permet d'argumenter quant aux exigences requises pour l'évolution du système.

L'instrument de mesure en question a été développé au sein du Laboratoire de Domaines Océaniques (LDO) sur les bases du LiMo-g. Il se compose de deux triades accélérométriques rigidement liées au corps du véhicule porteur qui, dans le cadre de ce projet, correspond à un submersible de type AUV (Véhicule Autonome Sous-Marin). La navigation de ce véhicule (position et attitude) est assurée par la fusion des données provenant d'une centrale inertielle, d'un vélocimètre Doppler et d'une liaison acoustique depuis le navire en surface et géolocalisé par GNSS. La calibration et la chaîne de traitement des données du capteur accélérométrique ont quant à elles été étudiées au Laboratoire de Géodésie et Géomatique (L2G) du Mans.

Après une présentation générale du principe de la mesure vectorielle et dynamique du champ de pesanteur, du capteur accélérométrique et du véhicule porteur, nous nous intéresserons au déroulement de la mission d'expérimentation puis aux résultats issus du traitement et de l'analyse des données recueillies.

La gravimétrie absolue marine avec des atomes froids

Bresson, A. (ONERA); Bidet, Y.; Zahzam, N.; Blanchard, C.; Rouxel, D.; Lalancette, M.-F.

Contact : bresson@onera.fr

We present the development and the tests of an absolute onboard gravimeter for marine applications. This instrument is based on the measurement of the acceleration of a cloud of cold atoms in free fall with an atom interferometry method. This technology has already shown excellent performances for static gravimeters and compares favourably with the best classical absolute gravimeters. We report here the development of a cold atom gravimeter which is able to measure gravity in a mobile platform where the gravimeter is subject to accelerations and rotations. For this purpose, the sensor head has been miniaturized and placed in a gyro-stabilized platform. The gravimeter has also been adapted to work with strong vibrations and accelerations which occur in a marine ship. After laboratory tests, our prototype has been tested in the boat "BHO Beautemps Beaupré" during two campaigns of few days and compared to a commercial spring marine gravimeter. Although bad sea conditions, we obtain accurate measurements of gravity and we were able to establish a map of gravity.

To our knowledge, it is the first time that absolute measurements of gravity have been reported in a boat. It is a breakthrough in marine gravimetry where until now only relative gravimeters were used which need to be often calibrated and have drifts. This absolute cold atom gravimeter should thus lead to the establishment of marine gravity maps more precise and reliable. This technology has applications in geophysics of ocean areas, exploration of seabed (ore, oil), mapping of gravity and navigation without GPS. The work presented here paves also the way for the future developments of onboard inertial sensors based on cold atom technology like gravity gradiometer, accelerometer or gyroscope.

GREMLIT un gradiomètre électrostatique planaire et sa plateforme contrôlée dédié pour la géodésie aérienne

Liorzou, F. (ONERA); Foulon, B.; Christophe, B.; Lebat, V.

Contact : francoise.liorzou@onera.fr

Grâce aux constellations de satellites de positionnement global et aux récentes missions de gravimétrie spatiale, la connaissance du champ de gravité terrestre a été considérablement améliorée cette dernière décennie. Néanmoins, ces données gravimétriques ne traitent pas de résolution spatiale inférieure à 90 km. Ainsi la collecte de données gravimétrique aéroportée sera du plus haut intérêt comme complément sur les courtes longueurs d'onde, en particulier dans les zones où la distribution spatiale et la qualité des données au sol restent très inégales, comme par exemple terre / transition de la mer.

Profitant de technologies, développées par l'ONERA pour les missions spatiales GRACE et GOCE, le gradiomètre aéroporté GREMLIT est composé d'un double gradiomètre électrostatique planaire composé de huit masses épreuves disposées dans une configuration cubique. L'instrument GREMLIT est monté sur une plateforme dédiée stabilisée qui est commandée par les sorties en mode commun de l'instrument lui-même pour obtenir un rapport de réjection suffisant des perturbations / vibrations induites en vol dans les directions horizontales. La possibilité de lévitation des masses d'épreuve selon la direction de la pesanteur et l'isolation contre les vibrations de la plateforme permettent à l'instrument un soutien de $1 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ le long de l'axe vertical. En plus d'être bien adapté pour soutenir la sustentation de la masse d'épreuve dans le champ de gravité de la Terre, la configuration plane de chaque accéléromètre présente également une linéarité intrinsèque des boucles de contrôle horizontal qui minimise l'aliasing dû à des vibrations ou des mouvements de haute fréquence générés en dehors la bande passante de mesure. Des simulations réalistes, basées sur des enregistrements de données réelles des perturbations des aéronefs, démontrent qu'une performance inférieure ou égale à un Eötvös peut être obtenue au moins le long des deux composantes horizontales du gradient de gravité.

Si la performance du gradiomètre électrostatique est bien évaluée grâce à l'expérience des accéléromètres spatiaux, la performance globale de l'instrument doit également tenir compte de la performance estimée de la plateforme et de ces capteurs associés d'attitude et de vitesse angulaire. La présentation mettra l'accent sur le principe de commande de la plateforme et montrera comment elle permet d'atteindre l'objectif de performance.

*** Poster *****Mesure du mouvement d'une faille sous-marine par distancemétrie acoustique : exemple du segment Istanbul-Silivri de la faille Nord-Anatolienne en mer de Marmara**

Piété, H. (Université de Brest , CNRS - Laboratoire Domaines Océaniques, IUEM); Royer, J.-Y.; Sakic, P.; Ballu, V.; Kopp, H.; Lange, D.; Petersen, F.; Özeren, S.; Ergintav, S.; Géli, L.; Henry, P.

Contact : helen.piete@univ-brest.fr

Au cours des vingt dernières années, la distancemétrie acoustique a été utilisée avec succès pour mesurer des déformations locales des fonds océaniques principalement en contexte d'expansion océanique, avec des résolutions allant du cm au mm. La méthode repose sur la mesure, quasi continue au cours du temps, de distances entre paires de transpondeurs acoustiques posés sur le fond ; ces distances sont en fait déduites des temps de parcours aller-retour d'un signal acoustique entre deux balises , ce qui nécessite donc de connaître précisément la célérité du son dans le milieu. Depuis novembre 2014, nous testons cette approche pour mesurer le déplacement d'une faille décrochante active située sur l'extension sous-marine de la faille Nord-Anatolienne, en mer de Marmara.

Au cours de la mission MARSITE, nous avons installé un réseau de balises de géodésie fond de mer autour du segment Istanbul-Silivri (SIS) de la faille Nord-Anatolienne. Ce programme, soutenu par l'UE et coordonné par l'Observatoire de l'Université de Kandilli (KOERI, Istanbul), a pour objectif d'évaluer le risque sismique associé au SIS. Le projet géodésique est soutenu par EMSO-France (INSU). Ce segment de faille constitue en effet une lacune sismique depuis au moins 1766 alors que les autres segments de la faille Nord-Anatolienne ont tous produit des séismes dévastateurs au cours du siècle dernier. En l'absence de sismicité, le SIS serait soit en glissement asismique, soit bloqué. Dans cette hypothèse, les modèles prédisent une accumulation de contraintes susceptibles de générer un séisme de magnitude supérieure à 7. Le SIS représente donc potentiellement un risque sismique et tsunamigénique majeur pour la ville voisine d'Istanbul.

Déterminer l'état de blocage de ce segment de faille est un défi technique. Le SIS est immergé, donc inaccessible aux outils classiques de la géodésie et l'éloignement des stations GPS à terre ne permet pas d'estimer l'accumulation éventuelle de contraintes en champ proche. La caractérisation du mouvement sur la faille demande par ailleurs une résolution suffisante pour détecter des déplacements faibles, inférieurs au cm, et implique de laisser le réseau en place pendant plusieurs années (ici au moins 3 ans). Le dispositif déployé en Mer de Marmara consiste en deux sous-réseaux imbriqués, avec 4 balises acoustiques de l'Université de Brest et 6 de l'institut GEOMAR (Kiel, Allemagne), émettant respectivement des signaux de moyenne et basse fréquences. Disposés en bordure est du bassin de Kumburgaz, de part et d'autre du segment de faille, les deux réseaux sont indépendants et assurent une redondance des mesures. Au total, ils forment 15 lignes de base de 350 à 1700m de long, mesurées en continu toutes les heures à 2 heures, afin de détecter tout déplacement éventuel de la faille, avec une précision attendue de quelques mm. Les instruments sont également équipés de capteurs auxiliaires (température, pression, célérité du son, attitude des structures), ainsi que d'un modem acoustique pour communiquer avec la surface, (déchargement des données, reparamétrage des balises).

Deux visites de contrôle et récupération des données ont été réalisées depuis novembre 2014, après 6 et 18 mois de fonctionnement. Le premier jeu de données, recueilli en avril 2015 (campagne POS484), montre une résolution de 1.5 à 2.5 mm sur les lignes de base. Le réseau s'avère tout à fait fonctionnel à l'exception des capteurs de célérité (forte dérive et discontinuités). Cette difficulté est contournée en recalculant la célérité à partir des mesures de pression et température enregistrées par les balises. La dérive instrumentale de ces capteurs va toutefois se répercuter sur la célérité dérivée et donc sur les mesures de distance. Nous avons mis au point une méthode d'inversion pour tenir compte de cette dérive instrumentale (inconnue) et extraire la déformation recherchée. L'inversion montre qu'au cours des 6 premiers mois d'observation, le mouvement de ce segment de faille n'est pas détectable. Une modélisation directe, supposant des vitesses de glissement de 0 à 20 mm/an, permet de donner une limite supérieure aux déplacements de la faille de 6 mm/an, compatible avec les mesures observées.

Sur ces 6 premiers mois, la faille apparaît donc dans un état bloqué ou quasi-bloqué. En avril 2016 (campagne POS497), une seconde visite a confirmé le bon état du réseau, notamment la stabilité des balises sur le fond. Les mesures relevées sont en accord avec les précédentes. Au premier abord, la faille ne semble pas avoir été plus active. L'analyse des séries temporelles est en cours.

Cette expérience, inédite dans un tel contexte, devrait se poursuivre jusqu'en 2018. Un bilan pourra être tiré sur le dispositif mis en œuvre (fréquence des signaux, protocole des mesures, fiabilité et robustesse des balises) et la pertinence d'un tel réseau « géodésique » sous-marin, pour éventuellement envisager la mise en place d'un observatoire permanent.

Évaluation d'une solution de positionnement ponctuel précis temps-réel

Bosser, P. (ENSTA Bretagne, OSM / Lab-STICC); Hmama, I.; Kuusisto, I.; Le Mercier, J.; Mekemlong Lando, Ch.

Contact : pierre.bosser@ensta-bretagne.fr

Le positionnement différentiel en temps réel (RTK pour Real Time Kinematic) est la technique de positionnement GNSS en temps réel la plus utilisée actuellement. De précision centimétrique, elle s'est largement développée en particulier avec la mise en place des réseaux RTK (on parle souvent de N-RTK pour Network-RTK), qui diffusent par téléphone mobile ou Internet les données nécessaires au positionnement différentiel.

La principale faiblesse de ce mode de positionnement par GNSS est la nécessité de disposer d'une ou plusieurs stations de référence, de préférence proche, pour une précision optimale. D'un autre côté, le positionnement ponctuel précis par GPS (PPP), apparu dans les milieux scientifiques dans les années 1990, s'est largement développé au cours des années 2000. Il présente l'avantage de fournir une position en mode absolu, c'est-à-dire calculée indépendamment de toute station de référence (du moins directement). L'objectif de ce projet est d'évaluer l'utilisation d'une méthode de PPP en temps réel, développée par la société Trimble, le RTX (pour Real Time eXtended). Cette méthode est ici évaluée dans différentes configurations d'utilisation. Ses limites en terme de temps d'initialisation sont confirmées, tandis que ses capacités en terme de positionnement centimétrique sont constatées.

Modélisation hydro-sédimentaire du Raz Blanchard

Minster, G. (ENSTA-Bretagne, OSM / Lab-STICC); Floc'h, F.; Nicolle, A.; Desmare, S.; Blanpain, O.; Zerr, B.

Contact : amandine.nicolle@ensta-bretagne.fr

Dans le cadre du projet ANR EMR_ITE PHYSIC (Processus Hydro-Sédimentaires en Interaction avec les Courants extrêmes), un modèle hydro-sédimentaire haute résolution du Raz Blanchard est développé à l'aide de TELEMAC. L'objectif de cette modélisation est de prendre en compte à la fois les processus micro-échelles tels que la saltation des galets et les conditions hydro-sédimentaires de la zone d'étude. Le modèle sera confronté aux observations collectées pendant les campagnes prévues pour le projet afin de le valider. Sachant que le Raz Blanchard est une zone à très forts courants où l'instrumentation se fait difficilement, la validation et la paramétrisation du modèle pour les courants s'appuiera également sur les données de la base de données courant du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) disponibles sur la zone.

Projet Hydrographie-Robotique au lac de Guerledan

Le Mezo Th. (ENSTA-Bretagne, OSM / Lab-STICC); Nicolle, A. (ENSTA Bretagne, OSM / Station Biologique de Roscoff)

Contact : amandine.nicolle@ensta-bretagne.fr

L'exploration et l'utilisation des ressources des océans est un des défis majeur du 21^{ème} siècle. Ces derniers restent néanmoins largement inexplorés bien que représentant 71% de la surface terrestre sur une profondeur moyenne d'un peu moins de 4000 m. Les ingénieurs de demain seront confrontés à deux problématiques : construire une meilleure connaissance de l'environnement marin et pratiquer une meilleure exploitation des ressources disponibles. Ces deux grandes activités, fortement liées, sont à la base d'un grand nombre de métiers émergents notamment en robotique marine et sous-marine et en hydrographie/océanographie qui sont deux domaines de compétence de l'ENSTA Bretagne. C'est dans ce cadre que l'ENSTA Bretagne souhaite mettre en place, pour ses étudiants de dernière année, une formation pratique au Lac de Guerledan (l'étude d'un lac nécessitant des compétences similaires à celles nécessaires pour l'étude du milieu océanique) afin de mettre en œuvre l'ensemble des connaissances acquises pendant leur scolarité.

L'objectif du projet est de faire travailler les étudiants autour de problématiques concrètes permettant la mise en œuvre de robots autonomes ou de matériel hydrographique. Les étudiants réaliseront une étude complète allant de l'installation de systèmes à la production de données en passant par l'adaptation du matériel et le traitement de données. Un des objectifs pédagogiques est de faire acquérir aux étudiants l'autonomie et l'esprit d'initiative indispensables à leur futur métier d'ingénieur. Les thèmes abordés vont de la mise en place d'un réseau de référence à l'étude acoustique et océanographique de la colonne d'eau en passant par le déploiement d'une caméra sous-marine à partir d'un drone aérien ou l'inspection de barrage à l'aide d'un sonar frontal.

Utilisation du gravimètre absolu A10-031 dans le cadre des levés de gravimétrie marine

Lucas, S. (SHOM); Rouxel, D.; Salaün, C.; Lalancette, M.-F.

Contact : sylvain.lucas@shom.fr

Le SHOM crée depuis 2015 des stations gravimétriques de référence dans des ports d'escale, grâce au gravimètre absolu A10-031. Embarqué à bord du BHO "Beautemps-Beaupré", ce gravimètre terrestre est mis en oeuvre lors des escales par le personnel du département de géophysique marine. Les mesures ainsi réalisées améliorent la précision des calages gravimétriques et donc la qualité des mesures marines.

Premières analyses vent/vagues de la mission TechDemoSat-1

Soulat, F. (CLS); Mian, A.; Tran, N.; Cardellach, E.; Mouche, A.; Chapron, B.; Grelier, T.

Contact : fsoulat@cls.fr

Le niveau de maturité de la réflectométrie par GNSS (GNSS-R) est évalué pour l'étude des caractéristiques des surfaces océaniques (vent/vagues). Les analyses ont été réalisées à partir des données spatiales issues de la mission TechDemoSat-1. Lancée en Juillet 2014, cette mission offre la première opportunité d'analyse de données GNSS-R spatiales, avec plusieurs mois de données de niveau 1 mises à disposition de la communauté scientifique. Les premiers résultats d'estimation des paramètres d'état de mer et du vent de surface sont présentés avec une attention particulière pour les régimes de vents forts. Ces analyses sont réalisées dans le cadre de l'étude R&T CNES sur la Réflectométrie GNSS pour les Applications Océaniques (étude REGALO).