

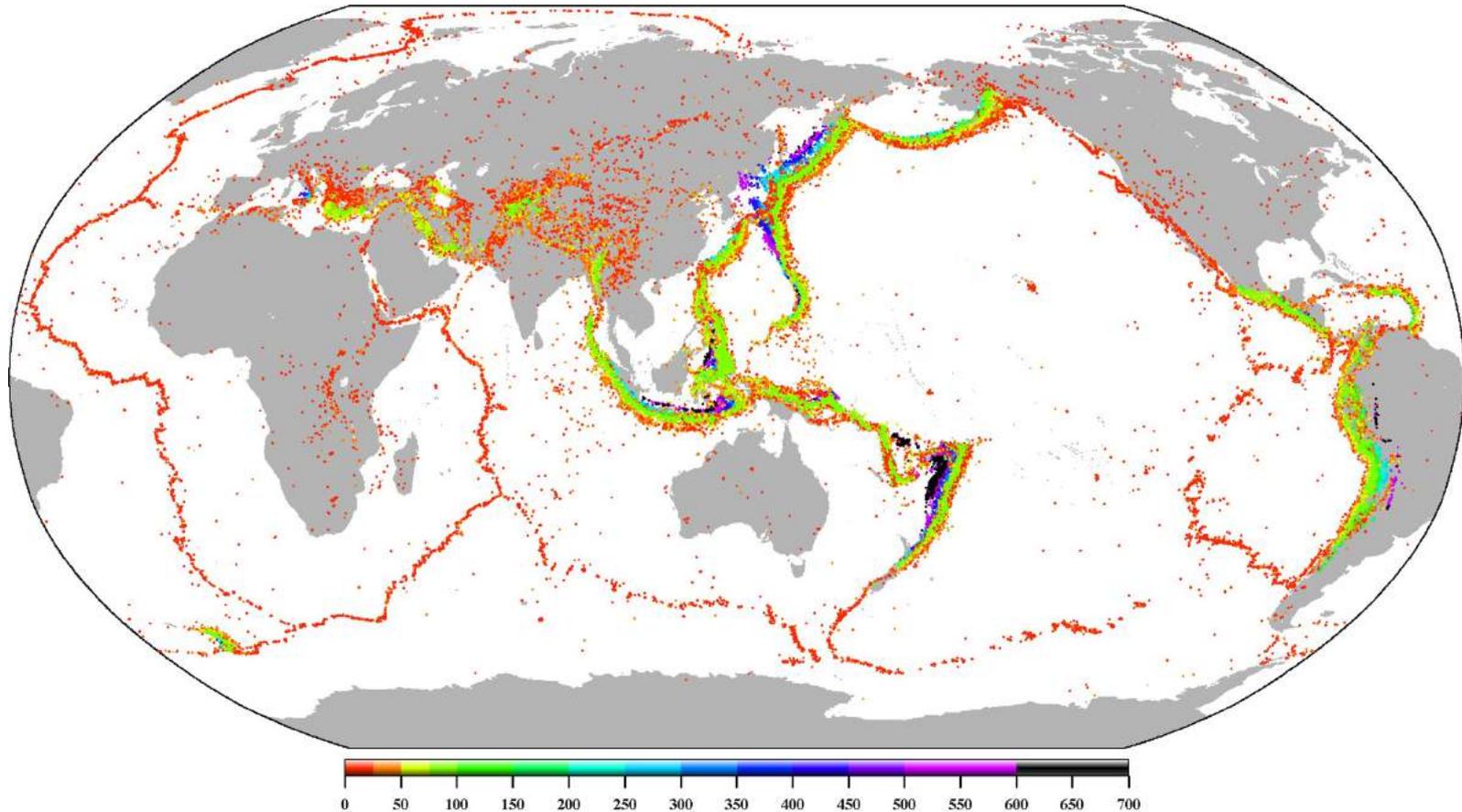


Extension de RESIF vers le fond de mer: pourquoi et comment?

Valérie Ballu, LIENSs/CNRS/ULR
Jean-Mathieu Nocquet, Geoazur/IPGP
Wayne Crawford, IPGP
Audrey Galve, Geoazur

*avec les contributions des participants aux
ateliers géodésie et sismologie fond de mer
(sept. 2018 et nov 2019)*

Carte de la sismicité mondiale



Profondeur des séismes (km)

Enjeux

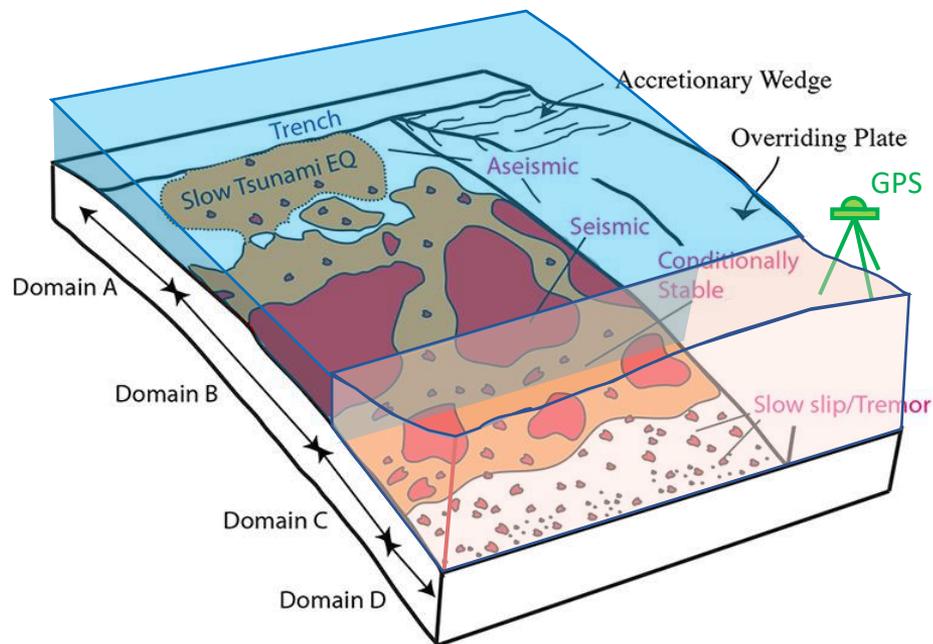
De nombreuses structures actives (volcans, zones de subduction, failles actives, glissements de terrain, dorsales....) sont situées sous l'eau et certaines loin des côtes.

L'imagerie de leur structure et la compréhension de leur dynamique nécessitent de mesurer au plus près... donc au large et sous l'eau.

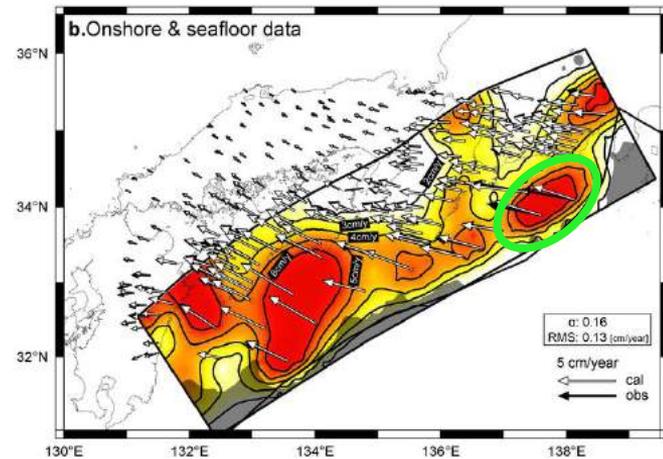
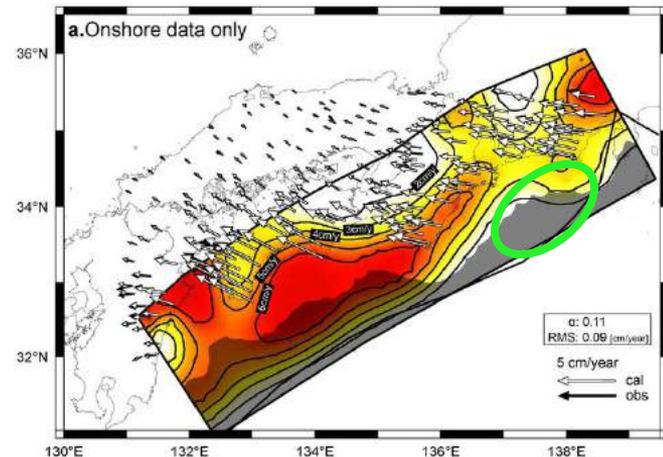
Ces structures peuvent générer des aléas majeurs pour les populations côtières qui représenteront $\sim 1/3$ de la population mondiale en 2040, avec un risque de plus en plus élevé en raison des changements globaux et d'une pression anthropique croissante sur les littoraux.



Les données à terre ne suffisent pas toujours, même avec une couverture très dense: exemple de la subduction au Japon



Adapté de Lay et al. 2012



Yakota et al., 2016

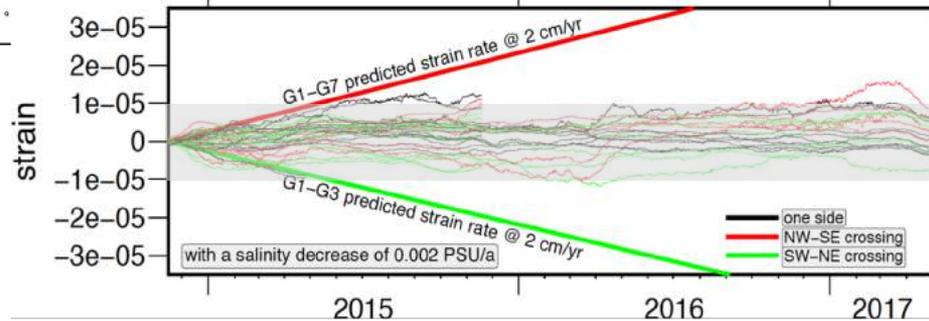
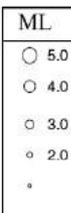
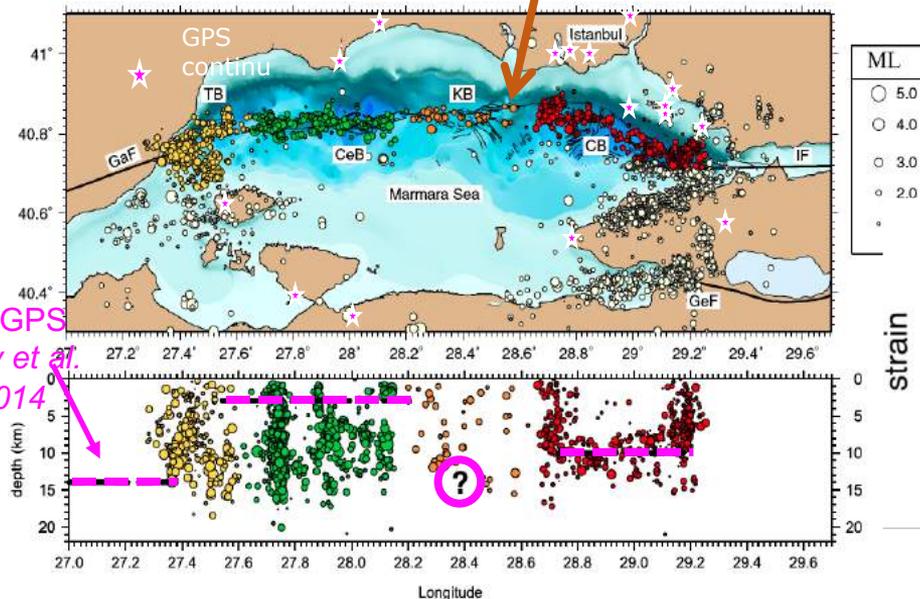
Les données à terre ne suffisent pas toujours, même lorsqu'elles encadrent la structure:
exemple de la NAF en Mer de Marmara

Expérience géodésie sous-marine



Sakic et al., GRL, 2016
Lange et al., Nat. Comm. 2019

Blocage
d'après GPS
Ergintav et al.
2007, 2014

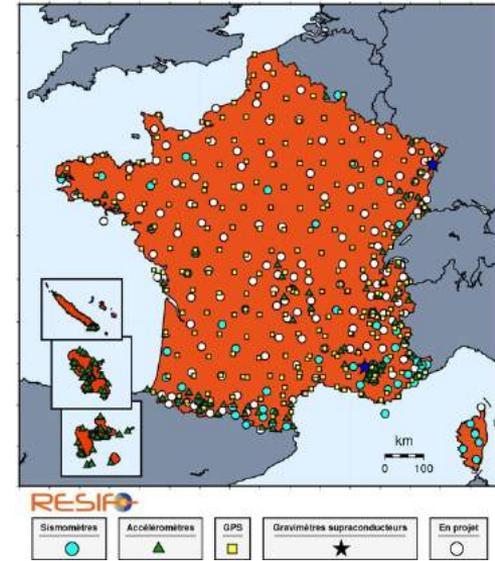


Adapté de Schmittbuhl et al., 2016



Objectifs de RESIF (PIA actuel)

- Imager la structure de la Terre et comprendre sa dynamique
- Principalement sur le territoire français métropolitain
 - densification des observations dans l'espace et dans le temps
 - au travers du soutien à des infrastructures de recherche telles que les parcs mobiles d'instruments ou de l'instrumentation permanente mise en place dans le cadre d'actions spécifiques



RESIF en 2020.
www.resif.fr

Réflexion sur l'extension de RESIF vers le domaine marin (notamment dans le cadre d'un PIA3)... quelle infrastructure souhaitons-nous?

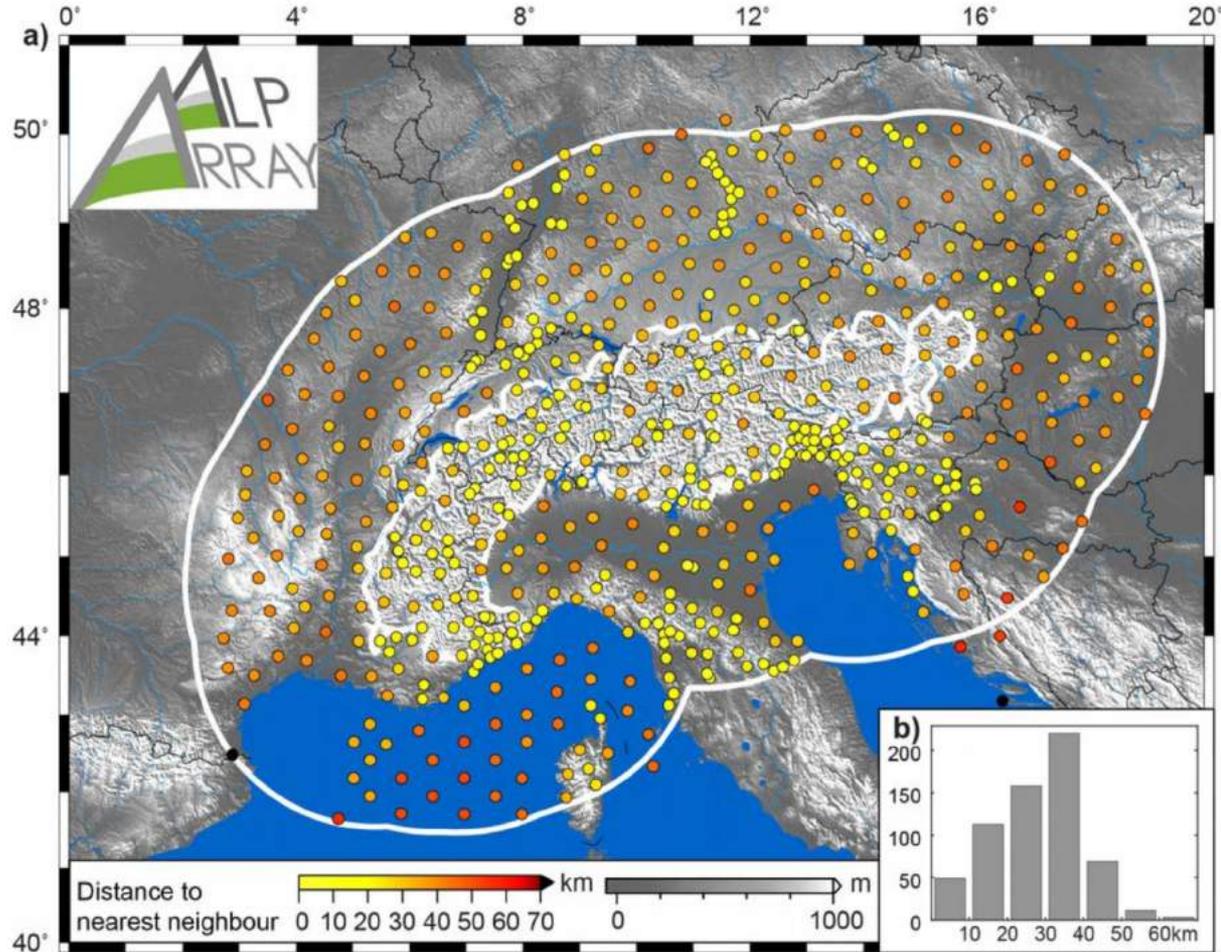
- Proposition **concertée entre sismologie et géodésie** fond de mer
- **Première action coordonnée**, dans le cadre de RESIF, pour l'achat d'un capteur de pression à déployer sur les cadres des OBS du parc INSU.
- L'objectif de la présentation est de donner un aperçu des outils et méthodes qui existent dans le domaine marin et de faire un état des lieux de ce qui est disponible en France.
- **Atelier "Fond de mer"** à 17h pour réfléchir ensemble à l'extension de RESIF vers le fond de mer

Alparray

Mise à **contribution des parcs OBS**
(Collaboration franco-allemande)
pour compléter le réseau large-
bande autour des Alpes

+ Capteurs très large-bande

- Réseau moins régulier et dense
qu'à terre (instruments disponibles,
chalutage...)



Crise sismo-volcanique de Mayotte

Les observations sismologiques et géodésiques à terre sont insuffisantes pour caractériser correctement la(les) source(s) localisée(s) en mer.

+ Déploiement des OBS et APGs en mer à partir de fin février 2018 (campagne de réponse rapide dans le cadre de MAYOBS)

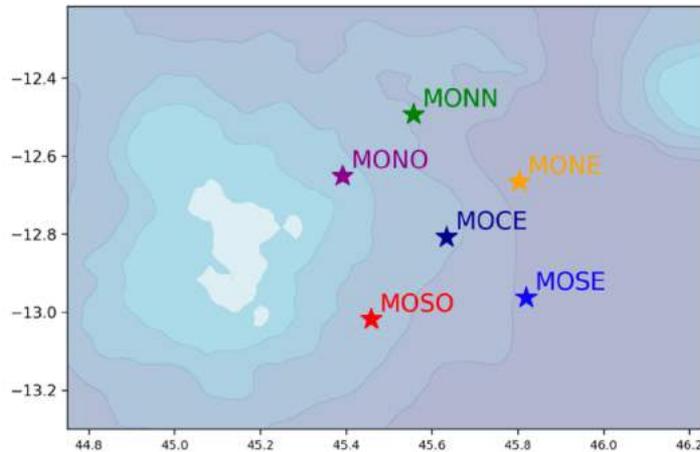
+ Meilleure géométrie du réseau => améliore la localisation des séismes

+ Amélioration des résultats du réseau terrestre

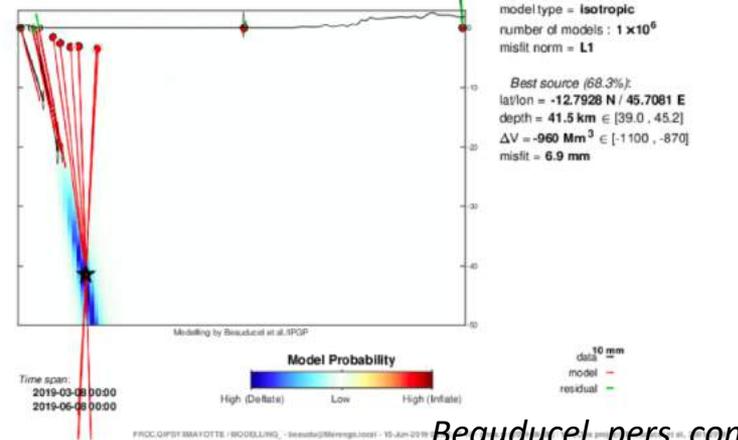
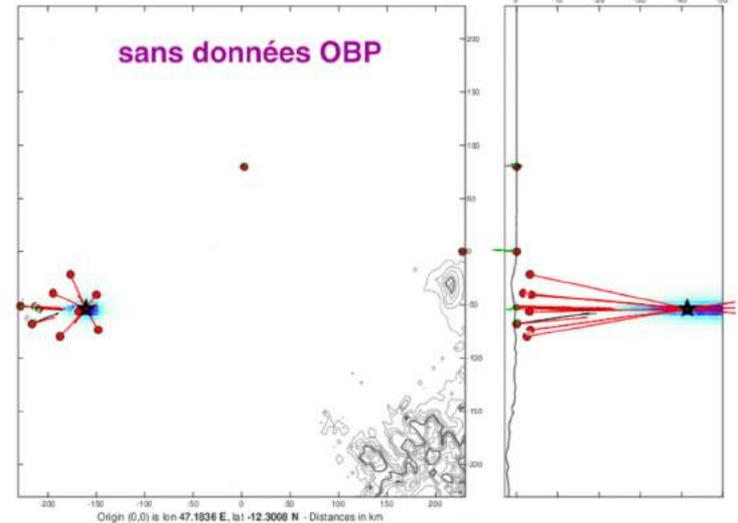
+ Localisation des événements VLF par les hydrophones (parc OBS INSU)

+ Mesures de déformation grâce au prêt de capteurs de pression du parc océanographique de l'INSU. Opportuniste mais ce ne sont pas des capteurs géodésiques.

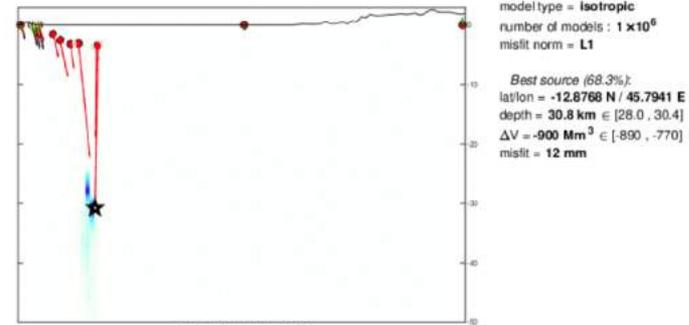
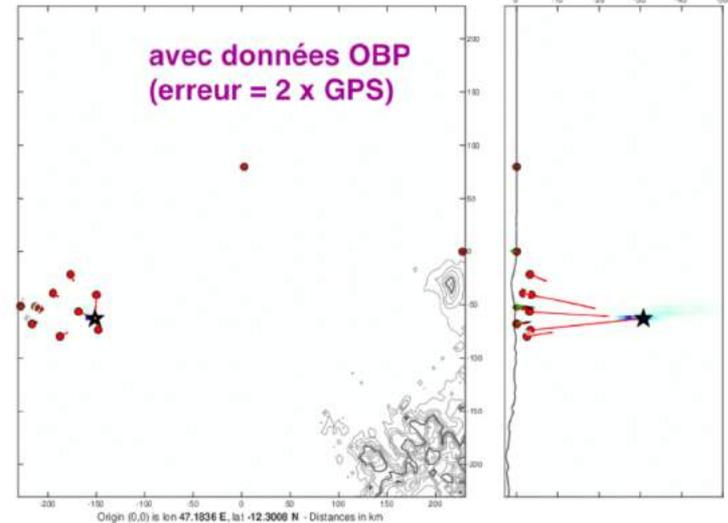
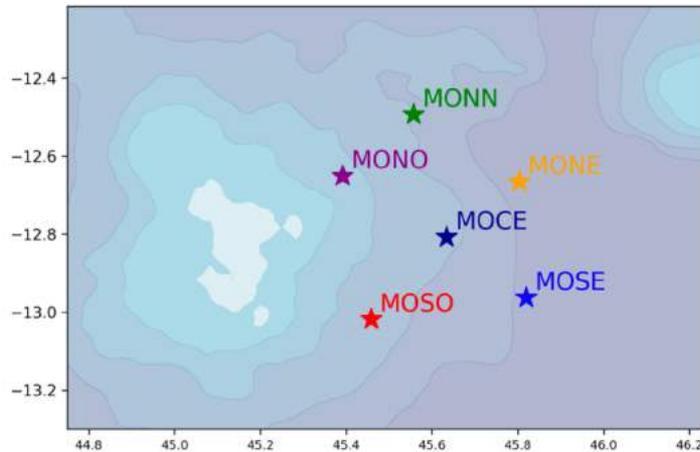
Apport des données pression fond de mer



Feuillet et al., en revision



Apport des données pression fond de mer



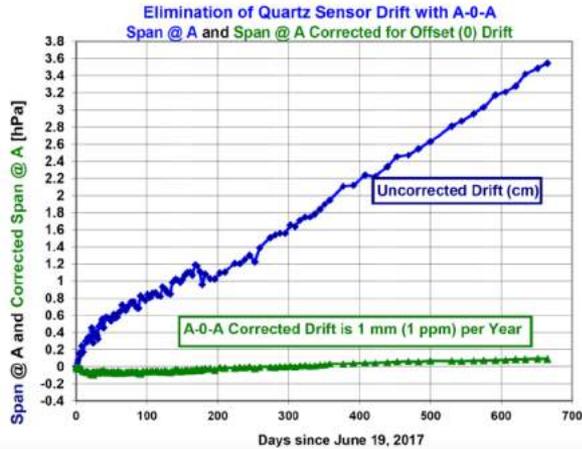
Time span:
2019-03-08 00:00
2019-06-08 00:00



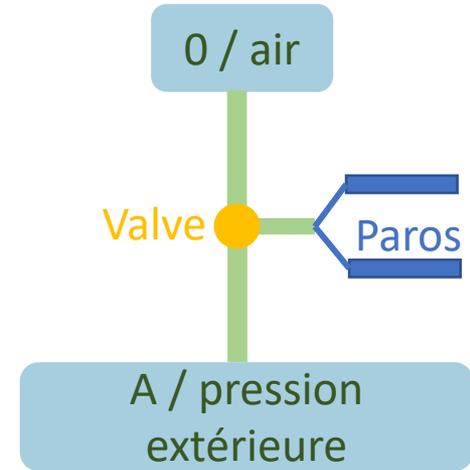
60 mm
data
model
residual

Limites à la composante marine de MAYOBS

- Dérive des capteurs de pression (APGs)
=> perspective A-0-A (calibration in-situ)



Monterey – SOS module – University of Washington



PUMA (DT-INSU/RESIF) en cours

- Contraintes logistiques (lourds, batteries lithiums)
- Pas d'OBS large-bandes déployés (pb transport)
- Pas de données temps réel en mer
 - => problème pour les observatoires et les aspects gestion de crise

Bilan des parcs OBS existants

- INSU – IPGP + Geoazur (= Parc RESIF)

44 OBS – SP

11 OBS – BB

parc vieillissant (+ de 15 ans) → **besoin d'une jouvence**

- IFREMER

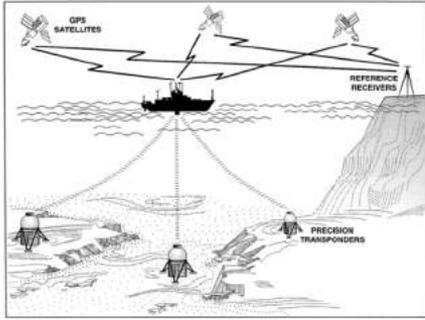
- 70 MicrOBS (déploiement rapide, sismique active)
- 10 LotOBS (déploiements plus longs / batteries lithium)
- 3 systèmes KUM (BB 120s) pour déploiement en 2020 (ERC M.A. Gutscher)
- Évolution d'IFREMER vers la sismologie passive (avec des OBS légers pour le monitoring de crise, notamment)

Autres développements

- **MUG-OBS** (Geoazur) : Plateforme opérationnelle pour observation multi-paramètres sur le long terme (4 ans) avec « 6 shuttles » pour récupérer les données régulièrement. Bull. santé par acoustique.
- **Manta-Bband OBS** (Geoazur) : – OBS 120s Tri-axial + Pression absolue, 2 ans d'autonomie. BS acoustique.
- **HydroOBS** (Geoazur - UBO) : Mooring hauturier – 4 Hydrophones Large bande – 3 shuttles – 4 ans d'autonomie. BS acoustique.
- **MERMAID** (Geoazur) : Flotteurs dérivants hydrophone large bande, télé-métrés pour tomographie et applications hautes fréquences (biologie marine - cétacés, météorologie, bruits anthropiques etc....). MERMAID version Lander pour suivi post-sismique et crises volcano-tectoniques.
- **OBS légers** Ifremer et IPGP / INSU (pour déploiement rapide, notamment dans le cadre de PREST)
- **Nouveau datalogger open source** (IPGP/INSU)
- **Observatoires** fond de mer (IFREMER) : ex. EMSO-Azores, Maregami
- Sismomètres **fibre optique** (IPGP, ENS) et **mesures distribuées** / DAS (Geoazur, IUEM)

Développements Geoazur disponibles en version commerciale auprès de la société OSEAN.

Développements Ifremer disponibles en version commerciale auprès de la société Sercel



GNSS/ Acoustique

- + horizontal
- + global
- Ponctuel
- discontinu

Cartographie
couplage



Distancemétrie

- + horizontal
- + résolution
- + continu
- local

Comportement d'un
segment de faille



Pression

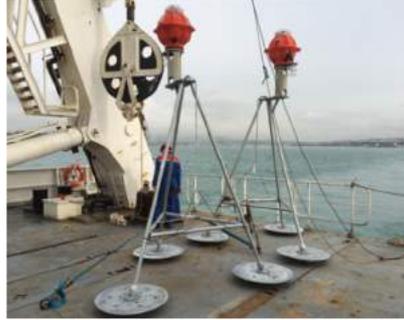
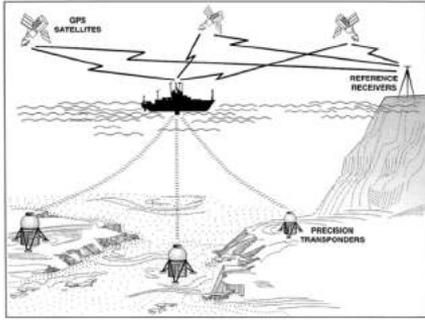
- + vertical
- + résolution
- + continu
- dérive
- dynamique océan

Activité magmatique
Séismes lents

Pas de parc,
mais des outils existent,
y compris en France

← **Avantages**

← **Inconvénients**



GNSS/ Acoustique

Distancemétrie

Pression

Fibre optique

- + horizontal
 - + global
 - Ponctuel
 - discontinu
- Observatoires?

- + horizontal
- + résolution
- + continu
- local

- + vertical
 - + résolution
 - + continu
 - dérive
 - dynamique océan
- A-O-A

- + haute résolution?
- + distribution spatiale
- ancrage?
- température?

Cartographie
couplage

Comportement d'un
segment de faille

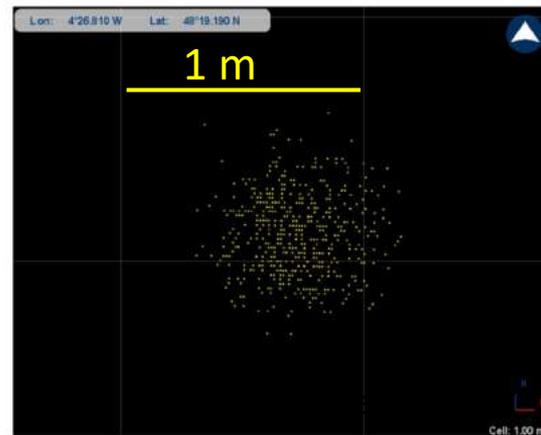
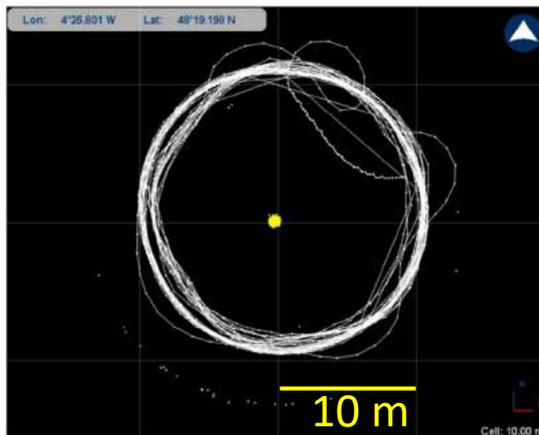
Activité magmatique
Séismes lents

Mesure distribuée

Cartographie et suivi temporel des déformations en mer

Première campagne de GNSS/A avec PAMELi en rade de Brest

Collaboration LIENSs / IUEM / iXBlue



- De quoi la communauté a-t-elle besoin?

- Quelles seraient les crises que nous pourrions avoir à gérer? Méditerranée? Algérie? Antilles?
- parc d'instruments léger pour réponse rapide en cas de crise?
- développement des observatoires à long terme?
- soutien à des actions de recherche fondamentale?
- développement des méthodes et savoir faire
- Services: parc moderne & maintenu, aide au déploiement, validation des données, outils logiciels, premiers traitements, diffusion & archivage des données

- Discussion sur les choix à faire

- périmètre scientifique? Terre Solide? environnement? quelle communauté?
- choix instrumentaux ? type d'instruments? faut-il inclure la fibre optique dans la même infrastructure?
- faut-il développer notre savoir-faire sur site pilote / chantier test? lequel?
- Les technologies évoluent vite : comment anticiper/accompagner les évolutions à 10 ans
=> **déjà 2 ateliers prospectifs (géodésie en sept 2018 et sismologie en nov 2019)**
=> **sondage pour recueillir l'avis de la communauté et réunion comité de rédaction 28-29 nov.**

Restitution de la Journée atelier "Sismicité, fluides et OBS en milieu marin"

Organisée par L. Géli (IFREMER), P. Bernard (IPGP), B. Marcaillou (Geoazur)

4 Novembre 2019 - Paris

Sismicité, fluides et OBS en milieu marin

- Thématique active dans les laboratoires français
 - Antilles, Haiti, Mayotte, marge Equateur, Marmara, Réunion, Dorsale SO Indien...
- Les failles en Mer sont naturellement des zones riches en fluide, propices à leur circulation
- En retour, les fluides influent sur leur comportement sismogénique
 - Rôle dans les séismes lents
 - Rôle dans la localisation et l'occurrence des répliques et foreshocks
 - Rôle dans la sismicité induite
- Une limitation des études est l'observation en champ proche de la sismicité, de la déformation et des émissions de fluide

Développements technologiques existants basés sur la fibre optique

- Prototypes de capteurs optiques déportés (IPGP-ESEO-ENS)
 - Sismomètre : qualification à terre (LSBB) et en mer (STB Lanveoc), installation permanente au sommet de La Soufrière.
Résultats: très haute résolution, moyenne bande spectrale
 - Inclinomètre longue base : qualification à terre (LSBB), installation permanente au CERN.
Résultats: très haute résolution et stabilité
- Mesure distribuée acoustique sur fibre optique
 - Mesures ultra-denses du champ d'onde sur ~40 km
 - Résultats prometteurs sur câble telecom fond de mer (<https://eartharxiv.org/ekrfy>)
 - ANR MoniDAS (2018-2022) pour explorer le potentiel de l'approche dans différents contextes (Grenoble-Géoazur-IPGP-Strasbourg)
- Mesure distribuée de déformation sur fibre optique
 - zone aéroport de Nice (ANR SEAFOOD – Géozur)
 - côte Est Sicile (ERC FOCUS -UBO)
- Technologie en évolution très rapide

Restitution des discussions

- Sismologie de fond de mer : enjeu essentiel de la connaissance du fonctionnement des failles en milieu marin. Grand défi de la géophysique actuelle car très peu de données en comparaison des zones continentales et enjeux scientifiques et socio-économiques multiples et majeurs (aléas, ressources),
- Les moyens disponibles actuellement ne sont pas à la hauteur des enjeux
- Bien définir les questions générales pour définir les infrastructures

Identification des besoins : 4 niveaux d'équipements

1. Intervention pour les suivis de crise
 - 1.1 Soutien des équipements aux observatoires: Antilles, Mayotte
 - 1.2 Instruments pour suivi post-sismique, crises volcano-tectoniques
2. Observatoire de fond de mer au point fixe: observation multi-paramètre continue
3. Instruments pour les projets de recherches (OBS génériques)
4. Innovations technologiques: fibre, nouveaux capteurs, nouvelles approches

Priorités du futur projet “RESIF Fond de mer”:

1. Initier la géodésie fond de mer en France, coeur d’un projet à soumettre
2. Rénover ou repenser les parcs OBS génériques
3. Se doter d’une capacité d’intervention rapide (OBS légers affectés au monitoring de crises sismiques ou aux observatoires d’outre-mer).
4. Soutenir les développements relatifs aux observatoires permanents (fixes) de fond de mer

Ouverture vers des problématiques au delà de la Terre Solide

- Des communautés sont intéressées à la sismologie environnementale
 - Bio (e.g. Suivi cétacé), bruits anthropiques (trafic maritime)
 - Dynamique locale océanographique: houle, oscillations des bassins
 - Dynamique côtière
 - Suivi des sorties de fluide
- La géodésie fond de mer peut intéresser d'autres communautés
 - Niveau des mers
 - Niveau relatif regional, dynamique côtière
 - Dynamique sédimentaire (deltas)
 - Instabilité de pente

3 initiatives pour avancer dans l'élaboration de la proposition

- Atelier RESIF à 17:00

Projet RESIF Géodésie-Sismologie Fond de Mer 2020-2030

La communauté RESIF réfléchit à la définition d'un projet visant à développer l'observation géodésique et sismologique fond de mer. Ce formulaire a pour but d'aider à la définition du projet.

La première réunion de rédaction du projet aura lieu les 28-29 Novembre à l'IPG de Paris

Si vous souhaitez vous impliquer dans le montage de ce projet, contactez:
Valérie Ballu (valerie.ballu@univ.fr)
Jean-Mathieu Nocquet (nocquet@geoazur.unice.fr, nocquet@ipgp.fr)
Wayne Crawford (crawford@ipgp.fr)
Audrey Galvé (audrey.galve@geoazur.unice.fr)

Début du Sondage

Vous êtes

Géodésien

Sismologue

Autre

- Journée de rédaction : 28-29 Novembre 2019 - IPGP