

# Sismologie Mobile Marine (SMM)

Bilan scientifique et technique, et prospective

Wayne Crawford, Sara Bazin, Audrey Galvé et Pascal Pelleau

# Résumé

- Préambule
  - Définition
  - Instrumentation
  - Historique
- Bilan scientifique
- Bilan technique
  - Instrumentations
  - Infrastructure
- Prospectives
  - Instruments communicants
  - Mesures environnementales
  - Réduction de couts

# Définition – Sismologie Mobile Marine

- Mesure des signaux sismologiques (et environnementaux) en milieu marin
- Pas limité aux sismomètres fond de mer
  - Capteurs de pression (hydrophones, jauges de pression différentielles, jauges de pression absolus)
  - Hydrophones dans la colonne d'eau (canal SOFAR)
  - Hydrophones autonomes (Landers)
- N'inclut pas les stations câblées

# Instrumentation - types

- Sismomètres fond de mer

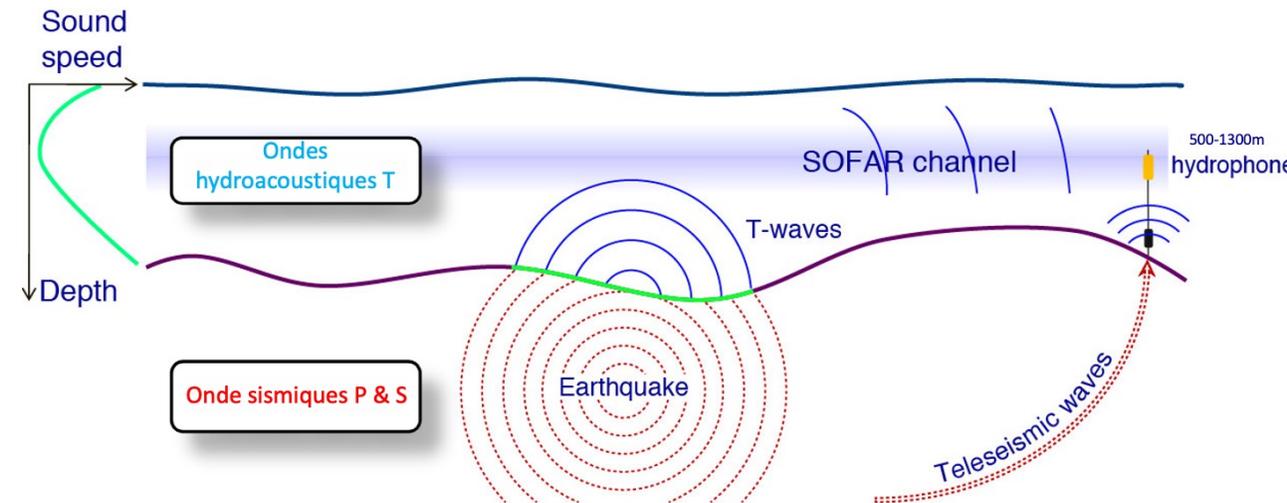
- Sismique active
- Courte périodes
- Très large bande
- Large bande compact
- Réponse rapide



- Hydrophones canal SOFAR

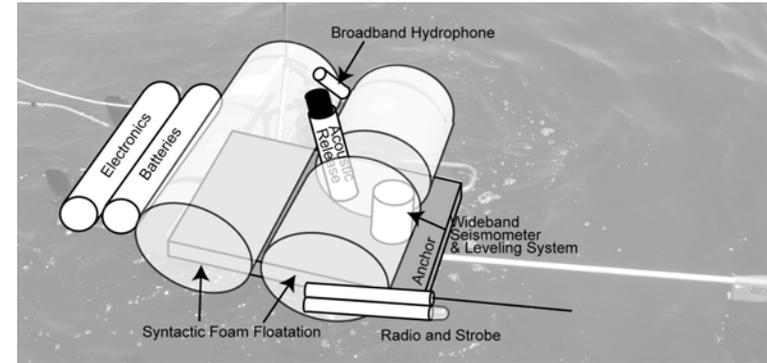
- Hybrides

- Hydrophones autonomes (Landers)
- Capteurs de pression absolues



# Instrumentation - composants

- Sismometres fond de mer



Schmidt-Aursch & Crawford, 2014  
Encycl. Earthquake Eng.

- Hydrophones canal SOFAR
  - sur ligne de mouillage
  - communication (navettes possibles)



- Hydrophones autonomes (Landers)

- capacité de descendre se poser sur le fond des océans et de remonter en surface pour envoyer les données
- communication (liaison satellite)



# Instrumentation – particularités

- Besoins liés à l'autonomie
  - Horloge avec dérive minimale et calculable
  - Faible consommation énergétique
  - Pas (ou peu) d'échange de données
- Difficultés pour les métadonnées (besoin de nœud A)
  - Dérive d'horloge à corriger à la réception
    - Prise en compte des leapseconds
  - Orientation peu ou non connue
    - Préciser la méthode de mesure
  - Bruit environnemental élevé
    - Mais contenant des signaux intéressants

# Historique

- 3 parcs sismomètres fond de mer historiques
  - IFREMER depuis 1980(?)
  - Géoazur depuis 1987
  - IPGP-INSU depuis 2001
- Efforts de coordination entre parcs
- Développement des hydrophones colonne d'eau à l'UBO depuis 2007
- Efforts d'intégration données dans Résif et coordination Résif
- Projet MARMOR (2021-2029)
- Action Spécifique SMM (2022)

# Historique - Données intégrées dans Resif

- RHUM-RUM (YV2011)
  - Données INSU-IPGP (9 stations) et allemandes (27 stations)
  - 1 an de travail (données et métadonnées non-standards)
- AlpArray (Z32015)
  - Données INSU-IPGP (7 stations) et Geoazur (1 station)
  - Données allemandes dans centres de données allemandes
- EMSO-Açores (4G2007)
  - Test de Nœud A SMM
  - Deuxième année envoyé en test des éléments du système
  - Autres données attendent test de système automatisé.

# Historique – Projet MARMOR

- Projet ANR de 15,404 M€ (2021-2029)

Élément	M€	Titre	SMM
1	1,555	Géodesie fond de mer	Données des capteurs de pression absolue
2	0,372	Réponse rapide et surveillance	2(/10) OBSs réponse rapide 8(/10) hydrophones autonomes (Landers)
3	1,824	Sismologie et environnement	25(/30) OBS sismique active 14(/18) OBS compacte large bande 1(/3) hydrophone canal SOFAR
4	0,892	R&D instrumentation optique	
5	9,124	Observatoire multidisciplinaire Mayotte	
	0,907	Admin & Gestion données	CDD Noeud A

- Exigence liée au projet: se réunir dans un parc national Résif

# Historique – Action Spécifique

- Validé en CD Résif du juin 2022
- Composition
  - Parc d'instrumentation national
    - pôles IPGP (Paris), Géoazur (Nice) et Geo-Ocean (Brest)
    - Entrée et système de demande d'utilisation unique
  - Nœud A
    - Collection et validation de données et métadonnées issues des pôles
    - Livraison immédiate des données/métadonnées au DC Epos-France
    - (Correction de la dérive d'horloge)
    - Validation visuelle des données et métadonnées par responsables parcs et scientifique
    - Livraison des données corrigées et métadonnées validées au DC Epos-France
  - Comité de suivi
    - Supervision des développements/intégrations nœud A, parc instrumentation, site web
    - Evaluation des demandes d'utilisation (2x/an)

# Historique - Labellisation en PIN

- INSU “Parc d’instrumentation national”
- Dossier rejeté en 2022, accepté en 2023
  - Demandé 50k€/an de fond de roulement (parc INSU-IPGP recevait 35k€/an)
- Recommandations du comité:
  - Indiquer si ticket modérateur variable en fonction du type de financement
  - Faire évoluer la mise en DC des données/métadonnées
  - Expliciter les différentes check-lists et créer un document commun.
  - Améliorer la description des instrumentations sur le site web

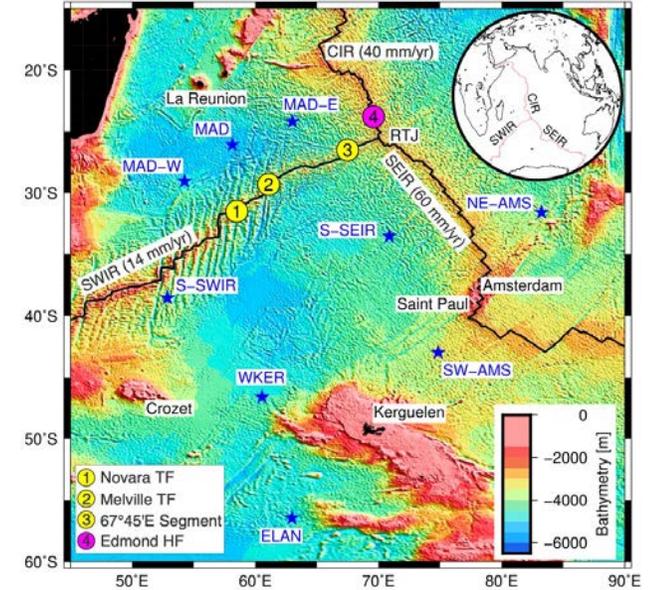
# Bilan scientifique

- 2018-2023
  - 12 campagnes
  - 54+ articles de rang A
  - 17+ thèses
- Quelques Découvertes importantes
  - Structure du panache "sous" la Réunion
  - Sources du bruit sismologique terrestre
  - Etapes de déshydratation de la plaque en subduction sous les Antilles
  - Chambres magmatiques profondes à coté de Mayotte
  - Structure et évolution de la circulation hydrothermale sous un volcan sous-marin
  - Suivi des coulées de lave sous-marines (signaux impulsionnels)
  - Tectonisme et magmatisme des dorsales océaniques a grande échelle
  - Migration des baleines
  - Fonte des glaciers en Antarctique

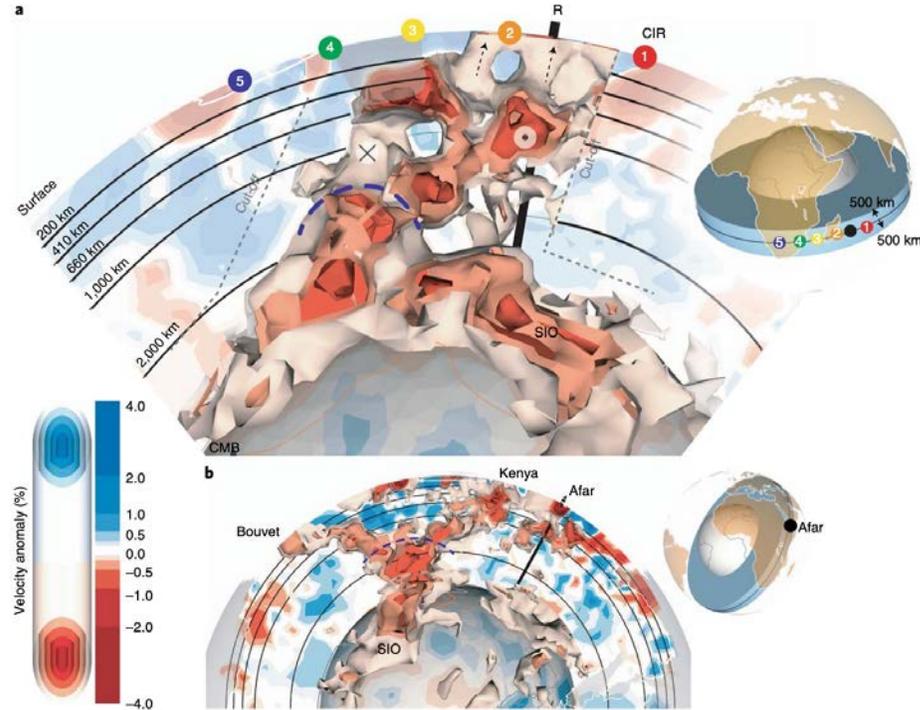
# Bilan scientifique – océan indien

- Expériences RHUM-RUM et OHASISBIO

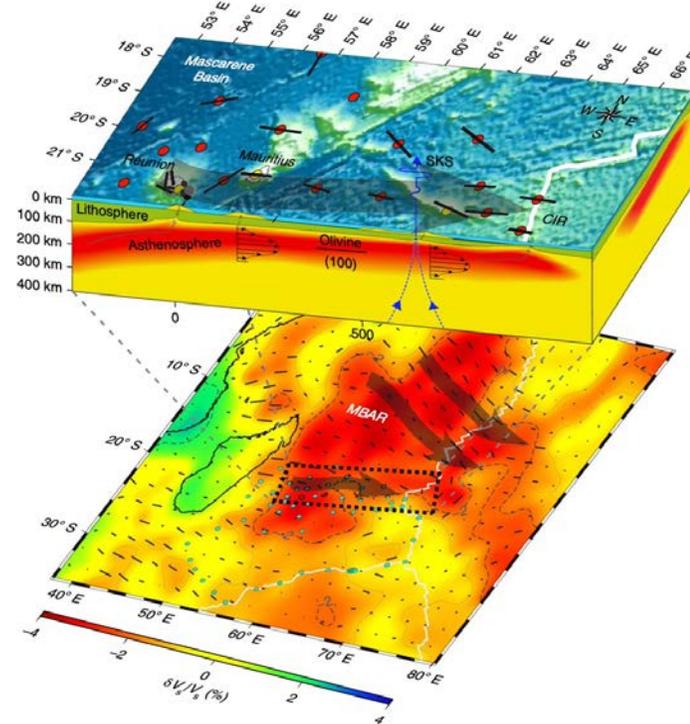
~39 000 séismes localisés dans 10 essais par OHASISBIO (2010-2020) V. Ingle 2023.



Tsekhimistrenko et al., 2021, Nat. Geosci.

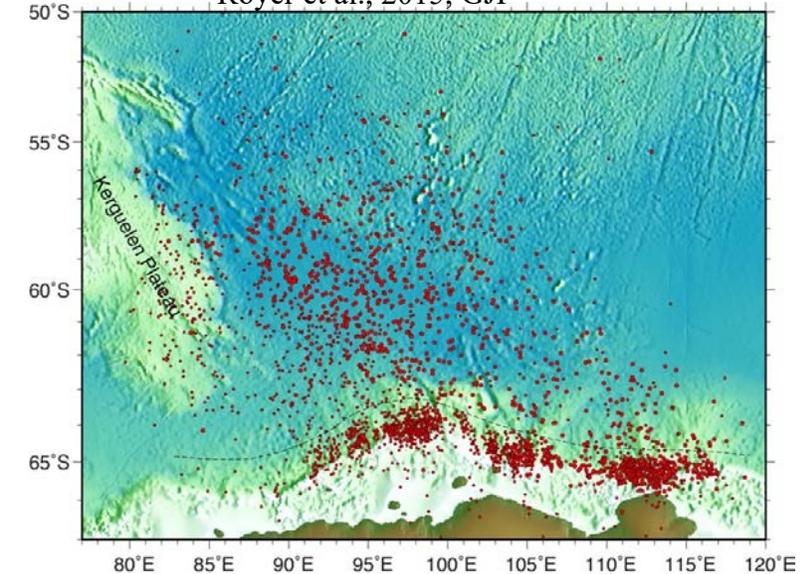


Barruol et al., 2019, Nat. Geosci.



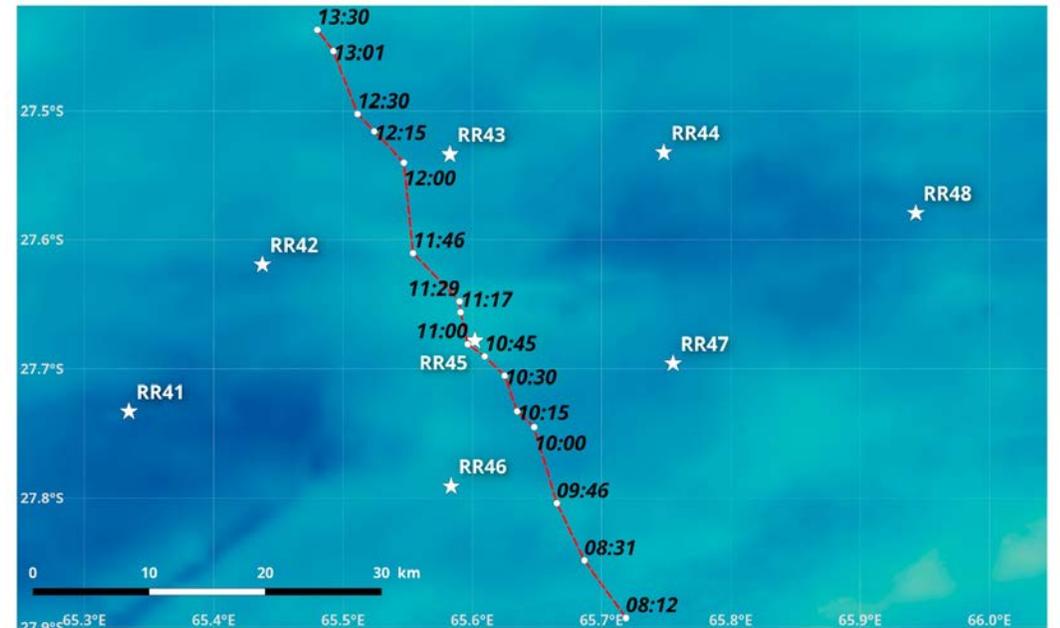
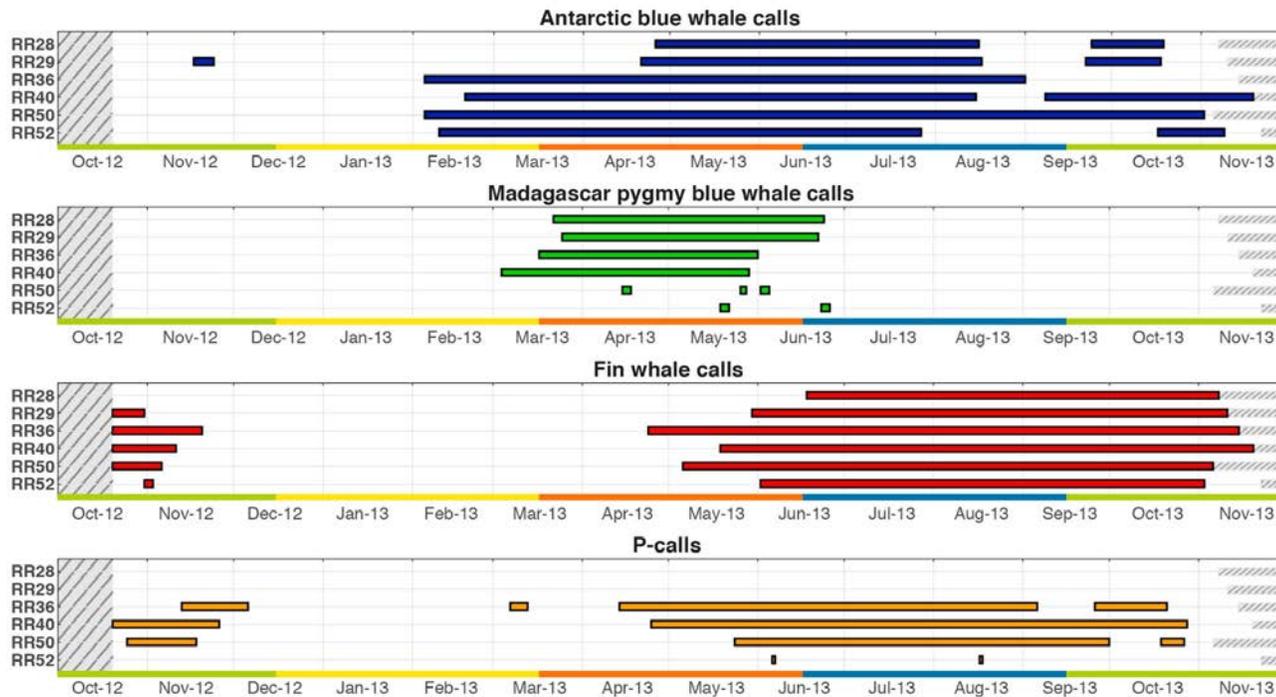
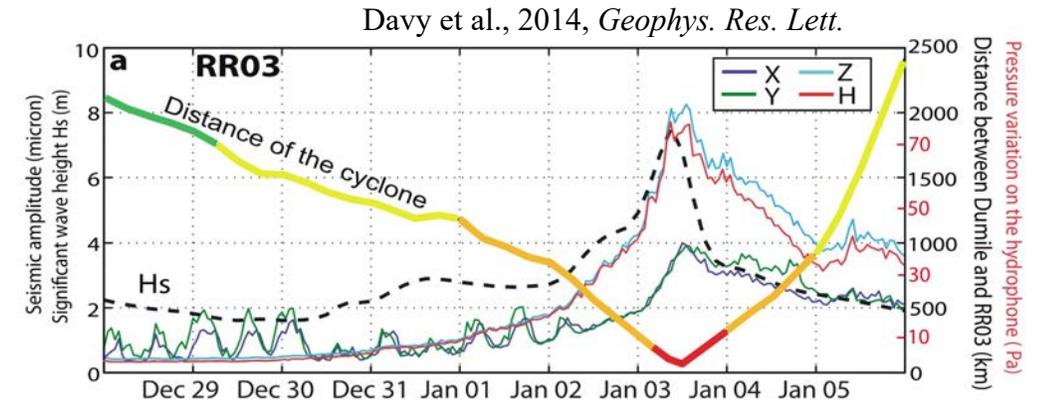
~3600 Icebergs/quakes localisés en 15 mois (2006 - 2007)

Royer et al., 2015, GJI



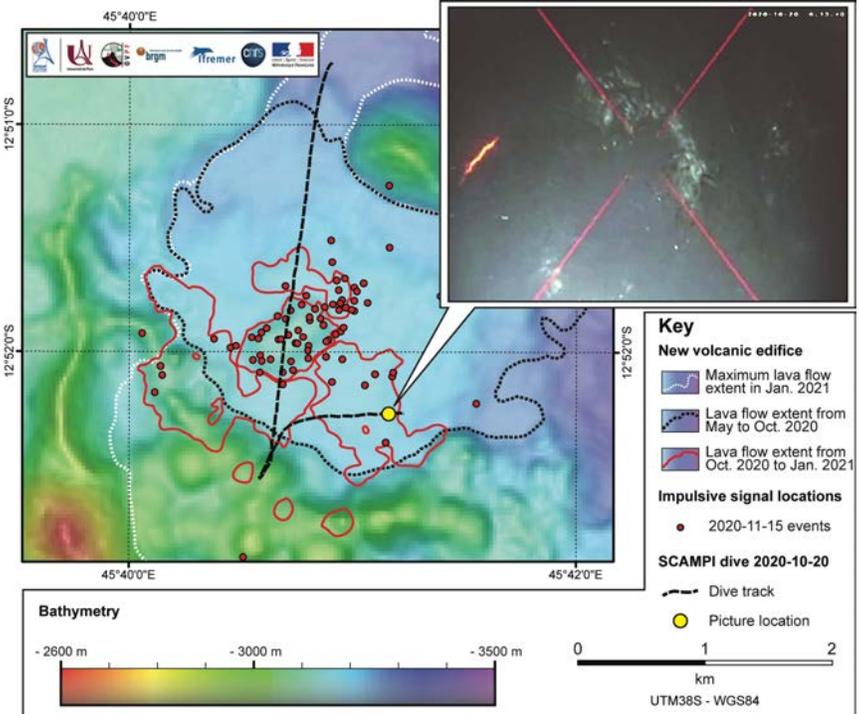
# Bilan scientifique – océan indien

- Expériences RHUM-RUM et OHASISBIO

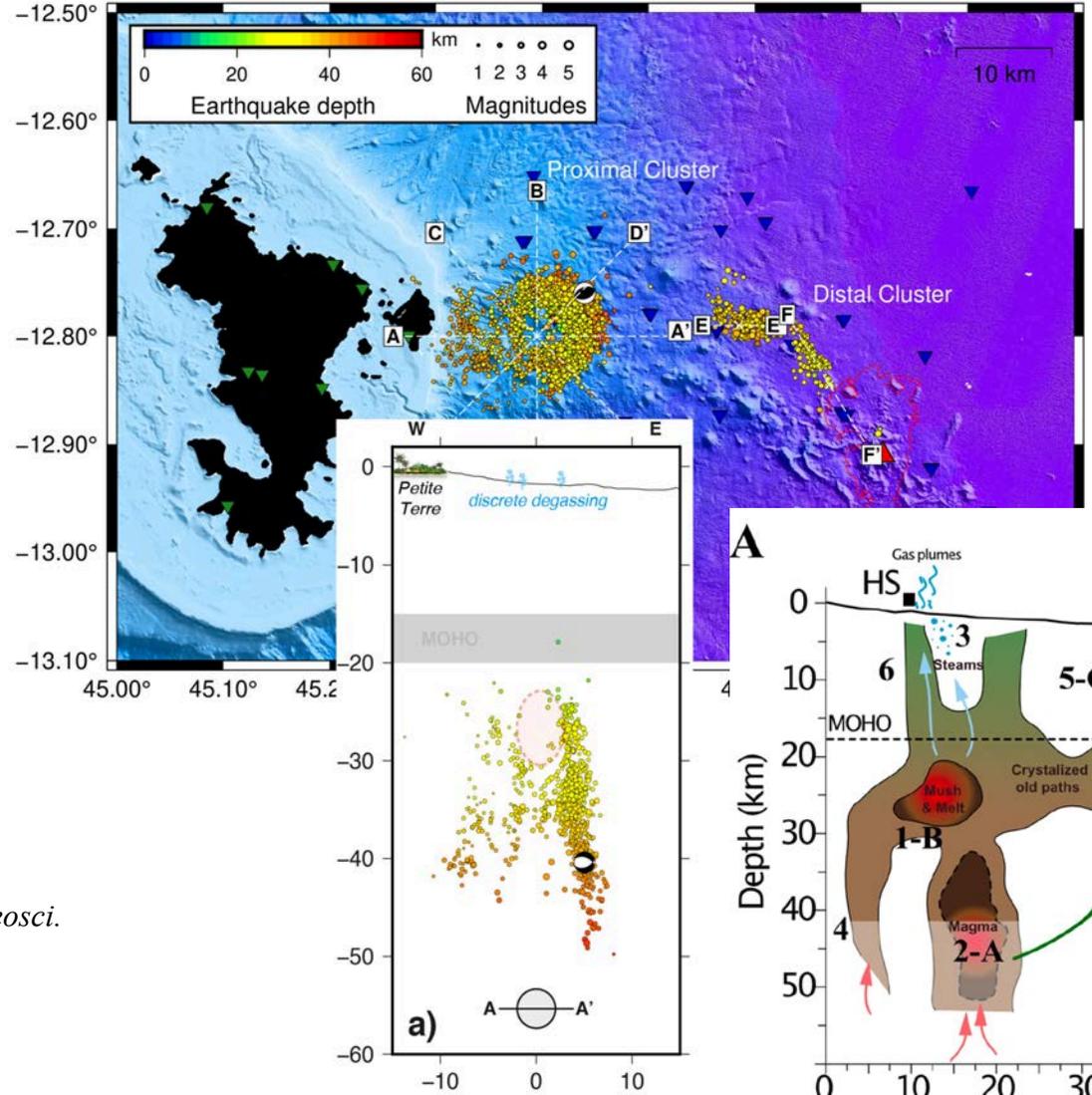


# Bilan scientifique - Mayotte

- Localisation de la sismicité
- Image tomographique des chambres magmatiques
- Détection et localisation des sorties de lave (signaux impulsionnels)
- Présence et saisonnalité des baleines



Bazin et al., 2023, *CR Geosci.*

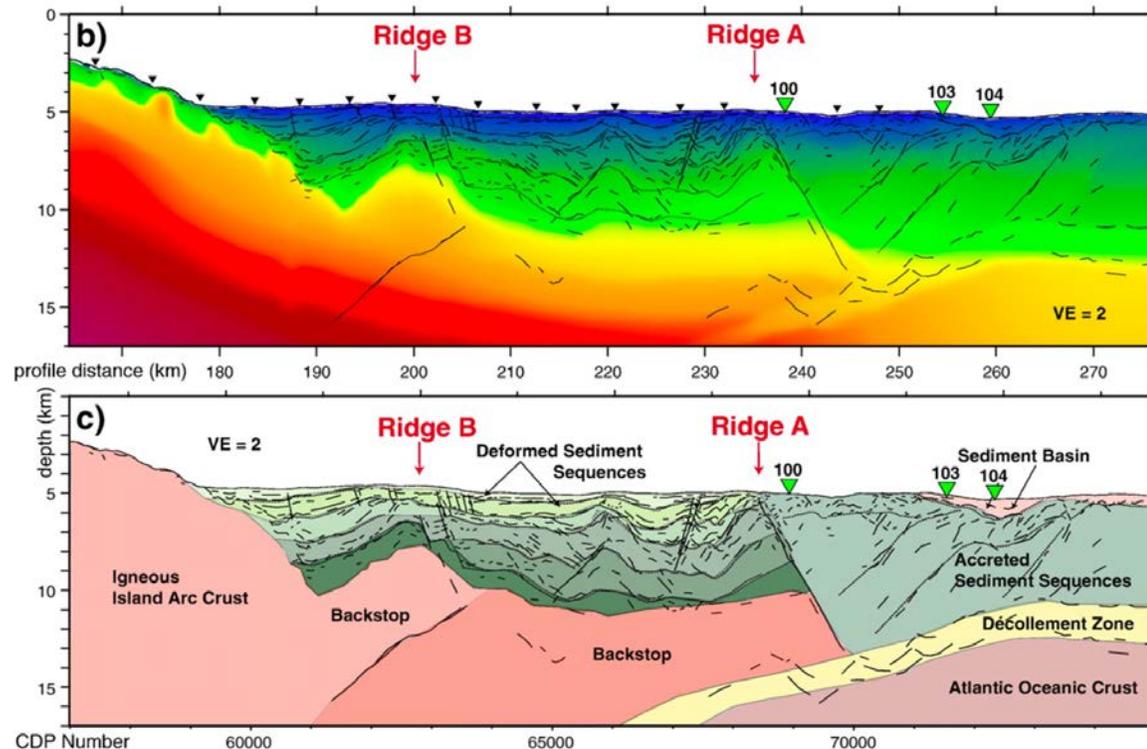


Lavayssiere et al., 2022, *JVGR*

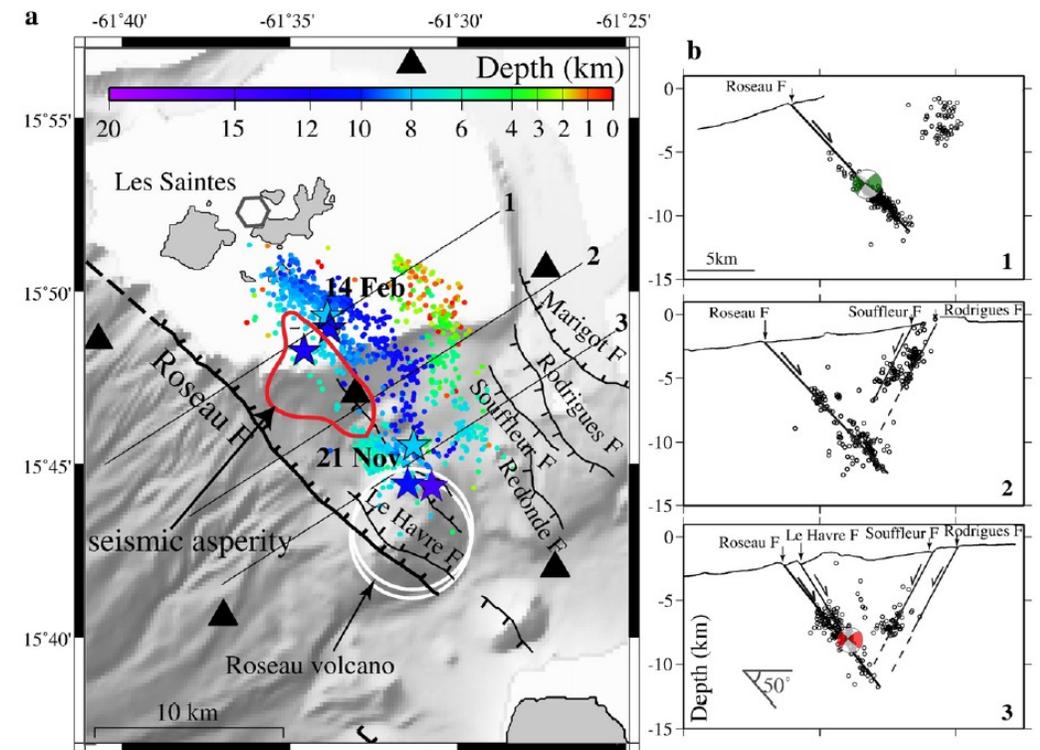
Foix et al., 2021, *JVGR*

# Bilan scientifique – sismicité aux Antilles

- Experiences SismAntilles et GuadOBS (reponse rapide)



Kopp et al., 2011, *EPSL*



Bazin et al., 2009, *Tectonophysics*



# Bilan technique - instrumentation

- Nouveaux dataloggers
  - Commerciaux (Sercel, Kinematics, Nanometrics, KUM)
  - IPGP (Open Source)
- Nouveaux instruments
  - MARMOR (achats et développement)
  - CUBI (OBS de réponse rapide financé par projet INTERREG PREST)
- Navettes de données (solution commerciale)
- Collaborations industrielles
  - MUG-OBS
  - OBSs communicants/câblés Mayotte



# Prospective – Demandes d'utilisation

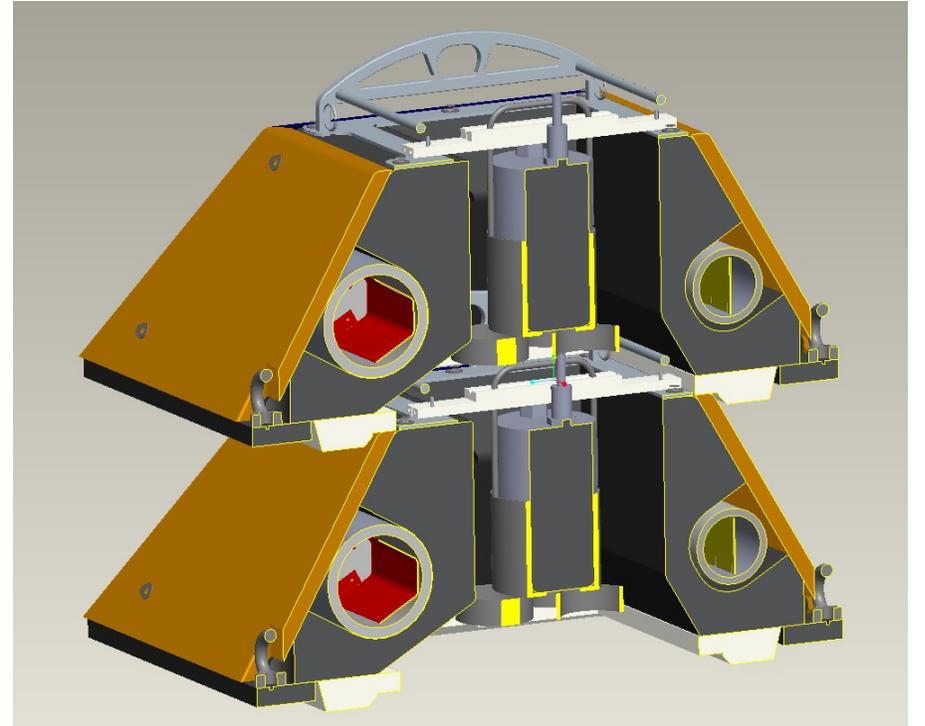
- Première demandes septembre 2023:
  - HaitiTwist:
    - 5 OBS compacte large bandes pendant 2 ans
  - Revosima/MAYOBS:
    - 2 OBS large bandes
    - 3-6 OBS courtes périodes jusqu'au septembre 2025
  - OHA-GeoDAMS:
    - 7 OBS compacte large bandes pendant 2 ans
    - 5 hydrophones canal SOFAR pendant 3 ans.
- Résumé
  - Toutes les demandes étaient pour 2 ans
  - Instrumentation préférée était OBS compacte large bande
  - Reste à voir si les demandeurs peuvent payer le ticket modérateur (demandes ANR...)

## DEMANDÉS

experiment	requested_type	#	start_date	end_date	acceptable_types	proposed_instrumentation
<b>HaitiTwist</b>						
	CBBOBS_1a	5	2024-04-10	2025-04-10	['BBOBS_1a']	5 BBOBS_IPGP
	CBBOBS_1a	5	2025-04-10	2026-04-30	['BBOBS_1a']	5 BBOBS_IPGP
<b>Revosima_Mayobs</b>						
	CBBOBS_1a	6	2024-03-01	2024-09-01	['SPOBS_1a', 'SPOBS_6m']	6 SPOBS_IPGP
	CBBOBS_1a	3	2024-09-01	2025-03-01	['SPOBS_1a', 'SPOBS_6m']	3 SPOBS_IPGP
	CBBOBS_1a	2	2024-09-01	2025-09-01	['BBOBS_1a']	2 BBOBS_IPGP
	CBBOBS_1a	3	2025-03-01	2025-09-01	['SPOBS_1a', 'SPOBS_6m']	3 SPOBS_IPGP
<b>OHA-GEODAMS</b>						
	WCHydr	5	2024-01-30	2027-01-30	[]	3 WCHydr_1a_GeoOcean + 2 WCHydr_4a_GeoOcean
	CBBOBS_1a	7	2025-01-30	2026-01-30	['BBOBS_1a', 'SPOBS_1a']	2 BBOBS_IPGP + 5 SPOBS_IPGP
	CBBOBS_1a	7	2026-01-30	2027-01-30	['BBOBS_1a', 'SPOBS_1a']	2 BBOBS_IPGP + 5 SPOBS_IPGP

# Prospective - Instrumentation

- OBS compacte large bande IPGP
  - Capteur isolé et protégé des courants
  - Datalogger Open Source
- North-finding sensor
  - Orienter axes sismomètre utilisant force Coriolis



# Prospective – Soutien institutionnel

- Budget récurant
  - PIN (INSU): 35k€ pré-SMM, pour parc INSU-IPGP, 50k€ demandé
  - IFREMER et IRD proposent de faire pareil
- Instrumentation non financée par MARMOR

Élément	M€	Titre	SMM
2	0,437 (54%)	Réponse rapide et surveillance	8 OBSs réponse rapide 2 hydrophones autonomes (Landers) 5 jauges de pression absolus
3	0,694 (28%)	Sismologie et environnement	5 OBS sismique active 4 OBS compacte large bande 2 hydrophones SOFAR