

**Édito** par Jean Chéry, René Crusem, Tony Monfret et Helle Pedersen

Les Rencontres scientifique et technique RESIF se sont déroulées à Yenne du 14 au 16 octobre 2013. Elles ont pleinement favorisé la rencontre d'une partie de la communauté française des sismologues, géodésiens et gravimétriciens et également, les interactions entre chercheurs et ingénieurs à travers des discussions scientifiques et techniques.

Dans ce numéro, l'équipe en charge du parc SISmologique MOBILE RESIF (SISMOB-RESIF) nous fait un tour d'horizon de cette action spécifique de RESIF et les exemples de projets et résultats scientifiques nous démontrent l'intérêt de disposer d'instruments mobiles pour de nombreuses utilisations (voir p.1 à 7)

2014 sera une année aux challenges multiples pour le projet RESIF qui entrera dans une phase de réalisation avec l'acquisition et l'installation de nombreux instruments notamment grâce aux financements RESIF-CORE (EquipEx). En complément des tests, de nouveaux types d'instruments seront finalisés, un nouveau portail d'accès aux données sismologiques sera développé et de nouveaux outils de distribution de données GNSS seront installés.

Notre prochain numéro étant programmé pour l'année prochaine, toute l'équipe de rédaction vous souhaite une très bonne fin d'année 2013 et continuera de vous informer au mieux, tout au long de 2014, du déroulement du projet RESIF-CORE et des résultats scientifiques importants issus de l'infrastructure RESIF. A l'année prochaine !

## ACTUALITÉS

- Décembre :** - assises nationales des risques naturels
- Novembre :** - 3ème Conférence Régionale EPOS  
- colloque Géodésie et Géophysique (G2)
- Octobre :** - séminaire RESIF
- Septembre :** - réunion EPOS avec les représentants gouvernementaux de 18 pays européens

## PORTRAIT (P. 8)

Jean Chéry, membre du Bureau RESIF

### SISMOB

Par Glenn Cougoulat, Anne Paul et Catherine Péquegnat

SISMOB est le parc national d'instruments sismologiques mobiles terrestres. Il est donc l'antenne sismologique mobile de RESIF. Comme pour les autres parcs du même type, par exemple Seis-UK en Grande-Bretagne ou Pascal aux Etats-Unis, l'objectif de SISMOB est de permettre la collecte de données sismologiques sur des objectifs ciblés en l'absence d'observatoires permanents, ou, en complément de ces observatoires, en permettant une densification significative de l'échantillonnage spatial. Par essence, les expériences utilisant le matériel SISMOB sont temporaires et leur durée varie de quelques jours à deux ans.

### Un peu d'histoire

Les sismologues des laboratoires français disposent de sismomètres mobiles depuis le début des années 90 et la création de LITHOSCOPE, pour l'imagerie de la lithosphère continentale, et du RAM (Réseau Accélérométrique Mobile) pour les études d'aléa sismique. A la fin des années 90, le besoin exprimé d'enregistrements à large-bande passante pour les études de structures comme de sources a mené à la création du RLBM (réseau large-bande mobile). Enfin, le parc IHR a été créé au début des années 2000 pour l'imagerie haute-résolution des structures à risque (failles, volcans, mouvements de terrain, etc.). C'est en 2006 que les quatre parcs ont été fédérés dans SISMOB, avec pour objectifs essentiels une meilleure lisibilité et une rationalisation du fonctionnement. Cette réunification avait aussi pour ambition de faciliter la modernisation du parc et son extension pour permettre aux sismologues français d'être des partenaires crédibles dans de futurs projets européens ou internationaux. Le développement de Sismob a naturellement été intégré au projet RESIF dès son émergence. Puis SISMOB est devenu l'antenne sismologique mobile de RESIF en 2010.

### Objectifs scientifiques et évolutions

Les objectifs scientifiques de SISMOB sont ceux des expériences qui utilisent son matériel. Ainsi, nous veillons à ce que la dynamique des numériseurs, la bande passante des capteurs, le nombre de voies des enregistreurs ou l'autonomie des stations couvrent au mieux les besoins des divers domaines d'application de la sismologie expérimentale.



Figure 1. Capteur d'une station SISMOB en Terre Adélie (expérience Arlita-sis ; photo J. Bascou, LMV)

Les domaines les plus classiques d'utilisation des instruments de SISMOB sont les études d'imagerie de la structure de la lithosphère (ex. : Afar, Pyrénées, Anatolie, point chaud de La Réunion), de la structure d'édifices volcaniques (ex. : Soufrière de Guadeloupe, Piton de la Fournaise, Merapi), et les études d'aléa sismique (ex. : Liban). Dans ces domaines, les évolutions observées vont toutes dans le sens d'un accroissement de la résolution spatiale passant par une augmentation du nombre de points de mesure. Au-delà de l'acquisition de nouveaux instruments pour s'adapter à la demande (dans la mesure où les budgets le permettent), nous travaillons à la mise en place de solutions de télémetrie par modems 3G permettant de transmettre les données (ou l'état de santé du numériseur en l'absence de connexion rapide) et d'éviter de coûteuses interventions sur le terrain.

SISMOB a permis une participation significative des équipes françaises sur deux interventions post-sismiques, L'Aquila (2009, Italie) et Maule (2010, Chili). Les interventions post-sismiques posent toutefois un problème particulier de disponibilité du matériel dans la mesure où seulement 5 stations SISMOB sont dédiées aux interventions en France et restent sur étagères. Les interventions de L'Aquila et Maule ont profité de disponibilités dans le planning SISMOB, ce qui n'a pas été le cas pour le séisme d'Emilie-Romagne de mai 2012.

	Marque/type	Nombre
142 numériseurs	Nanometrics Taurus	119
	Agecodagis Kephren-9c	13
	Agecodagis Kephren-6c	10
307 vélocimètres	Streckheisen STS-2 (120s)	36
	Güralp CMG3ESPC (60s)	2
	Güralp CMG40T (60s)	88
	Lennartz Le3D5s (5s)	22
	Agecodagis NoeMax (5s)	8
	IHR-3C (2 Hz)	17
20 accéléromètres	IHR-1C (2Hz)	134
	Güralp CMG5T	20

Tableau 1 : liste des instruments opérationnels SISMOB

Les dernières années ont vu émerger un nouveau type d'expériences visant à étudier la dynamique de processus évolutifs à l'échelle de quelques mois ou années. On peut citer l'étude des relations spatiales et temporelles entre séismes lents et tremors non-volcaniques sur la zone de subduction du Mexique, celle des variations temporelles de vitesses sismiques précurseurs d'éruptions volcaniques (Piton de la Fournaise) ou du déclenchement de certains glissements de terrain. La durée des expériences s'allonge au delà de 2 ans lorsque le temps de retour des phénomènes observés l'impose.

## Instruments et fonctionnement

SISMOB est à ce jour équipé de 142 numériseurs et plus de 300 capteurs, dont le détail est donné dans le tableau 1. Une vingtaine de stations large-bande (avec des capteurs 120s) devraient compléter le parc au printemps 2014 grâce à un financement RESIF-CORE.

La gestion du parc est confiée par l'INSU-CNRS à l'Institut des Sciences de la Terre (ISTerre, Grenoble). Le volet opérationnel de cette gestion est placé sous la responsabilité technique de G. Cougoulat (IR CNRS) et est assuré par S. Roussel (AI CNRS). On voit que la mutualisation et la rationalisation voulues à la création de SISMOB ont été poussées au maximum puisque le personnel technique dédié est passé de 2,6 ETP (Equivalent Temps Plein) en 2008 à 1,1 ETP aujourd'hui. C'est d'ailleurs une limite inférieure absolue en deçà de laquelle SISMOB ne pourra plus fonctionner.

Le fonctionnement de SISMOB est régi par une charte décrivant les droits et devoirs du laboratoire gestionnaire du parc et des utilisateurs du matériel. Les projets utilisateurs participent au financement du fonctionnement et de la jouvence du matériel via le paiement d'un ticket modérateur de 70€ par mois et par station. La plupart des expériences utilisatrices des matériels SISMOB sont aujourd'hui financées par l'ANR.

Un conseil scientifique de 12 membres représentant les laboratoires utilisateurs se réunit une fois par an pour conseiller les responsables sur le fonctionnement et les évolutions du parc.

## Bases de données SISMOB-RESIF

La sauvegarde et la distribution des données acquises par les projets utilisateurs sont aussi des missions importantes de SISMOB. La mise en forme des données et métadonnées est assurée par le nœud A SISMOB du système d'information (SI-RESIF), alors que sauvegarde et distribution sont assurées par le nœud B RESIF, comme pour les réseaux sismologiques permanents de RESIF. L'équipe du centre de données de l'ISTerre, C. Péquegnat (IR CNRS, ISTerre), D. Wolyniec (IE CNRS, OSUG) et P. Volcke (IR CNRS, ISTerre), assurent le fonctionnement du nœud A SISMOB pour 0,55 ETP.

Conformément à la charte SISMOB, les responsables des expériences transmettent aux ingénieurs du nœud A SISMOB les données continues ainsi que toutes les infor-

mations nécessaires à la construction des métadonnées, notamment les informations de localisation. Les données brutes sont alors converties au format standard d'échange, archivées et transférées au nœud B RESIF pour distribution aux collaborateurs du projet sur instructions du responsable de l'expérience. Sauf exceptions (interventions post-sismiques), les données ne sont accessibles qu'aux membres de l'équipe de projet pendant les 3 années suivant la date de fin de l'expérience. Elles deviennent publiques après cette échéance.

Pour les campagnes utilisant des stations large-bande, le centre de données fournit au responsable un accès au serveur PQLX qui, par le calcul et l'affichage des densi-

tés spectrales de puissance du bruit, permet de contrôler la qualité des enregistrements et des réponses instrumentales.

Les enregistrements issus des expériences temporaires SISMOB représentent aujourd'hui 7,8 To et constituent une part majeure des données archivées et distribuées par le SI-RESIF.

### Contacts :

Site Web Sismob : <http://sismob.obs.ujf-grenoble.fr/>

Anne Paul : [Anne.Paul@ujf-grenoble.fr](mailto:Anne.Paul@ujf-grenoble.fr)

Glenn Cougoulat : [Glenn.Cougoulat@ujf-grenoble.fr](mailto:Glenn.Cougoulat@ujf-grenoble.fr)

Catherine Péquegnat : [Catherine.Pequegnat@ujf-grenoble.fr](mailto:Catherine.Pequegnat@ujf-grenoble.fr)

## Zoom sur un résultat marquant récent

Les données issues d'expériences utilisant les matériels de SISMOB font l'objet d'une vingtaine de publications par an dans des revues internationales à comité de lecture. L'un de ces résultats est mis en avant ci-après.

Poli et al. (2012) montrent que des ondes P réfléchies par le toit (410 km) et la base (660 km) de la zone de transition du manteau sont détectable à partir des corrélations de bruit ambiant enregistrées par l'expérience LAPNET-POLENET. Ce résultat ouvre la voie à une cartographie haute-résolution de la zone de transition du manteau même en l'absence de séismes.

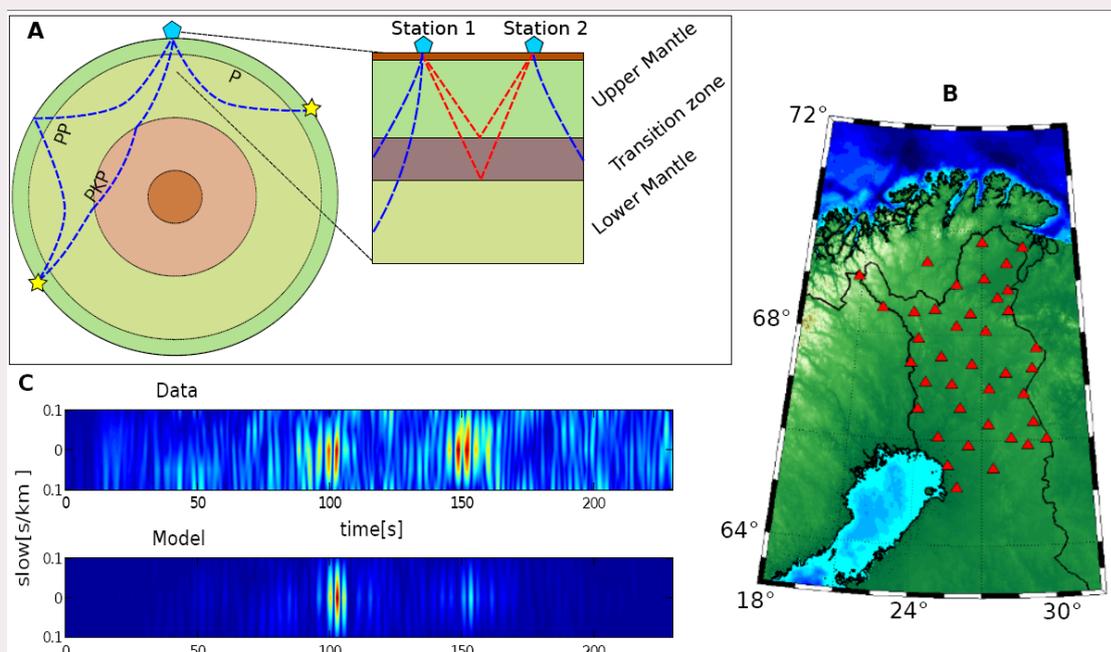


Figure 2. Ondes de volume réfléchies par la zone de transition du manteau sous la Finlande. A : modèle de Terre dans lequel du bruit généré par des sources océaniques (étoiles) se propage sous forme d'ondes de volume jusqu'aux stations sismiques (pentagones bleus). La corrélation du bruit enregistré au 2 stations permet en théorie de reconstruire l'intégralité du signal enregistré à la station 1 si une source émettait à la station 2, y compris les réflexions sur le toit et la base de la zone de transition du manteau (en traits pointillés rouges). B : Carte du réseau temporaire LAPNET-POLENET. C : Cartes lentueur-temps des corrélations de bruit (haut) et des sismogrammes synthétiques calculés dans le modèle de Terre AK135 (bas). Noter les arrivées d'énergie à 100 et 150s, comme prédit par le modèle AK135.

Référence : Poli, P., M. Campillo, H. Pedersen, and LAPNET Working Group. Body-wave imaging of Earth's mantle discontinuities from ambient seismic noise, *Science*, 338, 1063-1065, 2012

## PYROPE

Par Sébastien Chevrot et Matthieu Sylvander

### L'Expérience PYROPE : Un réseau sismologique large bande temporaire pour l'étude des structures lithosphériques sous les Pyrénées et le Golfe de Gascogne

Le projet PYROPE est un projet de sismologie financé par le programme ANR blanc, coordonné par l'IRAP (Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie) de Toulouse. Il associe ISTERre (Institut des Sciences de la Terre de Grenoble), LPGN (Laboratoire de Planétologie et de Géodynamique de Nantes), EOST (Ecole et Observatoire du Globe de Strasbourg), et Géosciences Montpellier. Ce projet a débuté en septembre 2009 et a duré 48 mois.

Le cœur de ce projet était le déploiement d'un réseau temporaire de stations sismologiques à large bande passante du parc SISMOB (Figure 1). Ce déploiement a pris deux formes différentes :

- une nappe en deux dimensions répartie sur le sud-ouest du territoire français, du sud du massif Central à la frontière espagnole, et de l'océan Atlantique à la mer Méditerranée. A cette nappe 2-D a été associée une ligne littorale, déployée le long de l'Océan Atlantique, de l'estuaire de la Gironde au nord du Finistère.
- deux profils linéaires franco-espagnols, perpendiculaires à l'axe de la chaîne pyrénéenne ; un troisième profil sera déployé d'octobre 2013 à fin 2014.

### Objectifs scientifiques

La convergence entre Ibérie et Europe, à l'origine de la formation des Pyrénées, s'est terminée à la fin de l'Oligocène, il y a près de 20 Ma. Pourtant cette chaîne est toujours active, comme en témoigne son activité sismique, l'une des plus élevées du territoire métropolitain. Si la dynamique actuelle de la chaîne est encore très mal comprise, sa structure interne l'est encore davantage, du fait de la faible densité de stations sismologiques large bande permanentes. Le principal objectif du projet PYROPE était ainsi de déployer un réseau temporaire de stations large bande dans le grand sud-ouest afin de collecter des données sismologiques de qualité. Couplée à l'IBERARRAY, une expérience jumelle déployée du côté espagnol, l'expérience PYROPE permettra d'imager les structures profondes sous cette région avec une résolution sans précédent. Les modèles tomographiques obtenus permettront une localisation plus précise des

séismes pyrénéens, et une meilleure caractérisation des failles actives. Ils donneront des contraintes importantes sur l'architecture crustale et lithosphérique actuelle, et à terme sur le raccourcissement lié aux phases compressives entre les plaques Ibérie et Europe, afin de préciser les modèles cinématiques de la plaque Ibérique au cours du Mésozoïque, qui est encore un sujet de débat.

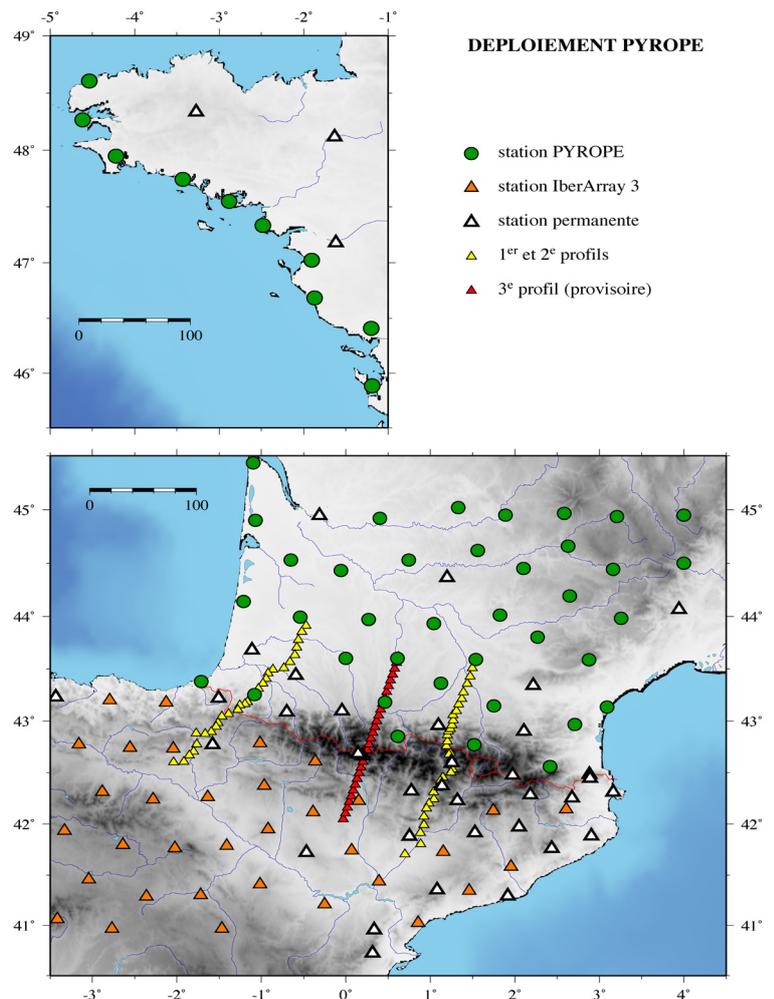


Figure 1. Carte des stations des expériences temporaires PYROPE et IBERARRAY (cercles verts et triangles oranges, respectivement) et des stations permanentes françaises (RLBP+RéNass) et espagnoles (triangles blancs)

#### Contacts :

Sébastien Chevrot, IRAP-OMP, [sebastien.chevrot@irap.omp.eu](mailto:sebastien.chevrot@irap.omp.eu)

Matthieu Sylvander, IRAP-OMP, [matthieu.sylvander@irap.omp.eu](mailto:matthieu.sylvander@irap.omp.eu)

### LE BRUIT SISMIQUE POUR SURVEILLER ET PRÉVENIR LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Par Eric Larose

Les méthodes conventionnelles de prédictions et d'alertes des glissements de terrain sont délicates à mettre en place techniquement, et pas toujours fiables. Les évènements sont en général repérés fortuitement, ce qui déclenche lorsque l'enjeu le nécessite une instrumentation de surveillance spécifique. Les technologies de surveillance, lorsqu'elles ne sont pas simplement visuelles, reposent en général sur la mesure de la déformation de la surface : GPS, extensomètres, etc.

Parce qu'elles sont naturellement sensibles aux propriétés mécaniques du sous-sol, et qu'elles sont représentatives de caractéristique du volume du matériau et non simplement de l'état de surface, les ondes sismiques sont une alternative intéressante aux techniques classiques utilisées actuellement. Le verrou technologique a longtemps été de disposer de sources sismiques reproductibles et opérables quotidiennement. Ce verrou a été en partie levé avec le développement des techniques d'imagerie et de surveillance à partir du bruit de fond sismique.

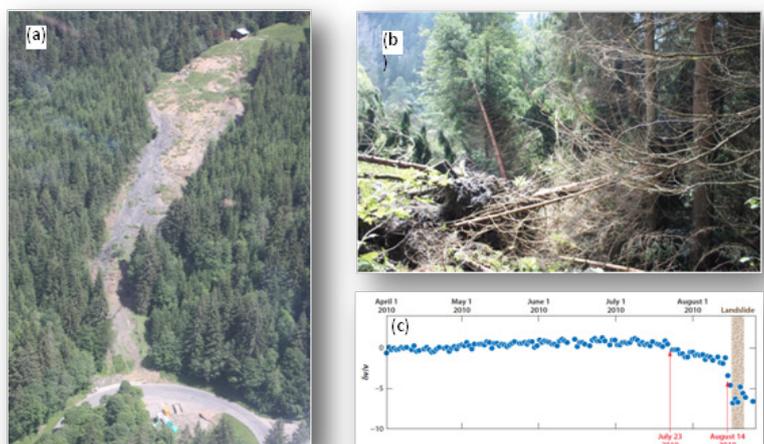
En 2010, nous avons décidé d'équiper un glissement de terrain qui se trouve à la sortie de la station de ski des Diablerets, en Suisse, avec deux capteurs sismiques courte période placés de part et d'autre du glissement, et connectés à une même station d'acquisition (parc SISMOB). Ce glissement a l'avantage d'être très actif (un évènement catastrophique tous les 3 à 4 ans), et d'être de taille très limitée (donc facile à instrumenter).

En effectuant la comparaison quotidienne des corrélations de bruit de fond entre les capteurs, et en se plaçant dans une bande de fréquence qui correspond à une profondeur de pénétration des ondes de surface de quelques mètres, il nous a été possible de surveiller l'évolution de la vitesse sismique du matériau argileux. Et nous avons observé une chute de vitesse (déconsolidation) significative plusieurs jours avant une phase d'accélération catastrophique du glissement. Ce signal sismique est donc un excellent candidat pour surveiller et prédire les glissements de terrain. Pour valider statistiquement cette méthode, le glissement est actuellement rééquipé d'une station et de 8 capteurs. D'autres glissements alpins sont aussi en cours d'équipement, et des études similaires sur certains sites de l'observatoire national OMIV ont démarré.

Figure 1. (a) Glissement de terrain à la sortie de la station des Diablerets, canton de Vaud, Suisse. (b) Catastrophe du 18-20 août 2010. (c) évolution de la vitesse des ondes sismiques à partir du bruit ambiant: une réduction significative, caractéristique d'une déconsolidation du matériau, est visible plusieurs jours avant la catastrophe.

Référence :

- G. Mainsant, E Larose, C Broennimann, C. Michoud and D. Jongmans J. Geophys. Res. 39, L19301, 2012



Contact : Eric Larose, ISTerre, Université Grenoble-Alpes & CNRS : [eric.larose@ujf-grenoble.fr](mailto:eric.larose@ujf-grenoble.fr)

## IMAGERIE DU MANTEAU SOUS LE POINT CHAUD DE LA RÉUNION - PROJET RHUM-RUM

par Guilhem Barruol et Karin Sigloch

Le projet RHUM-RUM (Réunion Hotspot and Upper Mantle – Réunion's Unterer Mantel) a pour objectif d'imager la structure du manteau sous La Réunion depuis la croûte jusqu'au noyau afin de déterminer la géométrie et l'origine du panache mantellique, ses possibles interactions avec la lithosphère ainsi que les mouvements de matière dans le manteau supérieur. Cette imagerie permettra d'étudier les relations de ce point chaud avec le super-panache sud africain, avec les points chauds voisins (Comores, Marion, Kerguelen, Amsterdam), et avec les rides centrales et sud-ouest indiennes.

RHUM-RUM (2012-2015) combine des observations sismologiques à terre et en mer sur une superficie de 2000x2000 km<sup>2</sup> centrée sur La Réunion. 57 stations de fond de mer allemandes (DEPAS) et françaises (INSU) ont été déployées en Oct. 2012 à l'aide du navire océanographique MARIION DUFRESNE et seront récupérées avec le navire allemand METEOR en Oct-Nov 2013. Les enregistrements de fond de mer sont complétés par les stations des réseaux permanents (Geoscope, IRIS, OVPE, Geofon) et par des déploiements de stations terrestres provenant de différents instituts : 16 stations du parc allemand DEPAS aux Seychelles et sur l'île Maurice, 1 station Geoscope à Rodrigues, 5 stations de l'AWI Bremerhaven sur les îles Éparses et 10 stations des Universités de Bonn, Muenster et Geociences Réunion sur La Réunion. Les 5 stations du parc SISMOB ont été déployées dans la région SE de Madagascar.

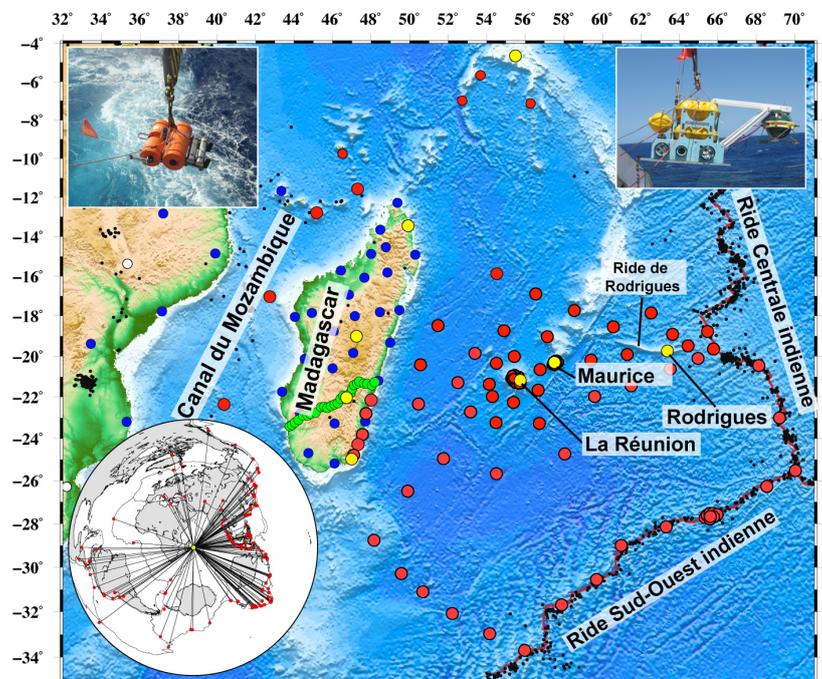


Figure 1. Carte de localisation des stations sismologiques dans le SW de l'océan Indien. Cercles jaunes : stations permanentes, cercles rouges : stations RHUM-RUM, cercles bleus : stations projet US MACOMO (P.I. M. Wyssession), cercles verts : stations projet GFZ (P.I. F. Tillmann). Mise à l'eau d'un OBS DEPAS (Gauche) et INSU (droite), et couverture potentielle (2009, Mb>6.0, 30 à 160°).

Equipes : France: IPG Paris, Géosciences Réunion, Obs. Volc. du Piton de la Fournaise, Géosciences Montpellier, Univ. Brest, FAST – Orsay, Géoazur, EOST Strasbourg.

Allemagne : Universités de Munich, Franckfort, Kiel, Bremerhaven, Muenster, Bonn.

Océan Indien : Mauritius Oceanography Institute, Antananarivo Univ., Madagascar.

Soutiens : France : ANR, INSU, OSU-Réunion, IPEV, TAAF ; Allemagne : DFG.

**Contacts** : Guilhem Barruol : [guilhem.barruol@univ-reunion.fr](mailto:guilhem.barruol@univ-reunion.fr)

Karin Sigloch : [sigloch@geophysik.uni-muenchen.de](mailto:sigloch@geophysik.uni-muenchen.de)

<http://www.rhum-rum.net>

### Portrait

Jean Chéry est membre du bureau RESIF en tant que responsable de la prospective scientifique. Il est actuellement directeur de recherche au CNRS au laboratoire Géosciences de l'Université de Montpellier. Il a été l'animateur du réseau GPS RENAG entre 2005 et 2009. Ses thèmes de recherche sont orientés autour de la modélisation numérique de la lithosphère et de l'activité des failles. Dans ce cadre il a co-développé le code numérique ADELI. Il s'intéresse également aux mesures géophysiques appliquées à l'hydrologie des domaines karstiques. Enfin, il utilise de nouvelles technologies de mesure optique afin de développer des capteurs de haute précision dans le domaine de la géodésie et de la gravimétrie.



### Les rencontres scientifique et technique RESIF, Yenne 14-16 octobre 2013

Les Rencontres RESIF d'Octobre 2013 ont rassemblé 114 scientifiques, ingénieurs et techniciens de laboratoires français durant trois jours à Yenne, en Savoie. Ces rencontres ont été la première occasion de présenter le bilan des activités scientifiques et techniques de RESIF dans le domaine de la sismologie, de la géodésie et de la gravimétrie, de favoriser les interactions dans cette communauté et d'initier de nouvelles actions autour du projet RESIF. Une vingtaine de présentations orales et une session de posters ont permis de montrer des résultats scientifiques récents, en particulier grâce aux données et aux instruments RESIF. Des ateliers et des réunions techniques dans le domaine de la sismologie, de la gravimétrie et des bases de données ont donné lieu à de nombreux échanges entre participants. La session finale qui a clôturé les rencontres, a permis de faire le point sur les attentes de la communauté vis à vis de RESIF. En ce qui concerne les futures rencontres RESIF, une meilleure intégration des communautés travaillant sur les aspects opérationnels de l'aléa sismique a été évoquée. D'autre part, la participation plus active de tous les partenaires devra être recherchée. Les diverses propositions émanant de la communauté seront transmises au Comité Directeur et discutées par le conseil scientifique de RESIF. La participation de la communauté et l'intensité des échanges scientifiques et techniques ont fait de ces premières rencontres un succès.

**Équipe de rédaction :** Pascale DAYNES (ISTERRE), Lydie GUILLEROT (CNRS-INSU), Tony MONFRET, membre du Bureau de RESIF, Helle PEDERSEN, Directrice de RESIF et René CRUSEM, Président du Comité Directeur de RESIF.

Adresse courriel : [comm@resif.fr](mailto:comm@resif.fr)

**Inscription à la Newsletter RESIF :** <http://www.resif.fr/newsletter.php>